

Rec'd PCT/PTO 28 FEB 2005
PCT/EP 03/09542

Mod. C.E. 147 28-08-03

REC'D 06 OCT 2003

WIPO

PCT

Ministero delle Attività Produttive

Direzione Generale per lo Sviluppo Produttivo e la Competitività

Ufficio Italiano Brevetti e Marchi

Ufficio G2



Autenticazione di copia di documenti relativi alla domanda di brevetto per:

Invenzione Industriale

TO2002 A 000757

Si dichiara che l'unita copia è conforme ai documenti originali depositati con la domanda di brevetto sopraspecificata, i cui dati risultano dall'accluso processo verbale di deposito.

Inoltre verbale di Istanza depositato alla Camera di Commercio di Torino n. TOR0695 del 13/11/2002 (pag. 1) e disegni definitivi (pagg. 30).

78 AGO. 2003

Ro

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

IL DIRIGENTE

Signa E. MARINELLI

BEST AVAILABLE COPY

AL MINISTERO DELL'INDUSTRIA DEL COMMERCIO E DELL'ARTIGIANATO

UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI - ROMA

DOMANDA DI BREVETTO PER INVENZIONE INDUSTRIALE, DEPOSITO RISERVE, ANTICIPATA ACCESSIBILITÀ AL PUBBLICO

A. RICHIEDENTE (I)

1) Denominazione C.R.F. SOCIETÀ CONSORTILE PER AZIONI codice 07084580015
 Residenza ORBASSANO TO

2) Denominazione TREE S.A.S. DI GRUGNETTI ROBERTA codice 05997230013
 Residenza TORINO TO

B. RAPPRESENTANTE DEL RICHIEDENTE PRESSO L'U.I.B.M.

cognome e nome GIUSEPPE QUINTERNO ed altri. cod. fiscale _____
 (Isr. No. 257BM)
 denominazione studio di appartenenza Jacobacci & Partners S.p.A.
 via Corso Regio Parco n. 27 città TORINO cap 10152 (prov) TO

C. DOMICILIO ELETTIVO destinatario

via _____ n. _____ città _____ cap _____ (prov) _____

D. TITOLO

classe proposta (sez/cl/sci) _____

gruppo/sottogruppo _____

MACCHINA ELETTRICA DI TIPO SINCRONOANTICIPATA ACCESSIBILITÀ AL PUBBLICO: SI ☐ NO ☒

SE ISTANZA: DATA _____

N° PROTOCOLLO _____

E. INVENTORI DESIGNATI

cognome nome

cognome nome

1) FRATTA ANTONINO 3) _____
 2) _____ 4) _____

F. PRIORITÀ

nazione o organizzazione

tipo di priorità

numero di domanda

data di deposito

allegato S/R

SCIOGLIMENTO RISERVE

Data

N° Protocollo

1) _____
 2) _____

G. CENTRO ABILITATO DI RACCOLTA CULTURE DI MICRORGANISMI, denominazione

H. ANNOTAZIONI SPECIALI

LETTERA DI INCARICO RISERVA

DOCUMENTAZIONE ALLEGATA

N. es.

Doc. 1) 2 PROV n. pag. 183 riassunto con disegno principale, descrizione e rivendicazioni (obbligatorio) (esemplare)
 Doc. 2) 2 PROV n. tav. 30 disegno (obbligatorio se citato in descrizione, 1 esemplare)
 Doc. 3) 1 RIS dichiarazione sostitutiva di certificazione
Lettera d'incarico, procura o affidamento procura generale
 Doc. 4) 1 RIS designazione inventore
 Doc. 5) 1 RIS documenti di priorità con traduzione in italiano
 Doc. 6) 1 RIS autorizzazione o atto di cessione
 Doc. 7) 1 nominativo completo del richiedente

SCIOGLIMENTO RISERVE
 Data _____ N° Protocollo _____
 confronta singole priorità

8) attestati di versamento, totale lire

SETTECENTOTRENTA/79

obbligatorio

COMPILATO IL 29 08 2002

FIRMA DEL (I) RICHIEDENTE (I)

GIUSEPPE QUINTERNO
 (Isr. No. 257BM)

CONTINUA SINO NODEL PRESENTE ATTO SI RICHIEDE COPIA AUTENTICA SINO SI

Jacobacci & Partners S.p.A.

C.C.I.A.A. DI TORINOcodice 01

VERBALE DI DEPOSITO

NUMERO DI DOMANDA

2002 A000757

Reg. A

L'anno duemiladueduemiladue

Il giorno

ventinove

del mese di

AgostoIl (I) richiedente (I) sopraindicato (I) ha (hanno) presentato a me sottoscritto la presente domanda, corredata di n. 00

fogli aggiuntivi per la concessione del brevetto sopra riportato.

I. ANNOTAZIONI VARIE DELL'UFFICIO ROGANTE

IL DEPOSITANTE



BUSSO
 CATEGORIA D

L'UFFICIALE ROGANTE

Luigi Bruno

RIASSUNTO INVENZIONE CON DISEGNO PRINCIPALE

NUMERO DOMANDA **10 2002 A000757**DATA DI DEPOSITO **29/08/2002**
DATA DI RILASCIO **11/11/2002**

1. RICHIEDENTE (I)

Denominazione **C.R.F. SOCIETA' CONSORTILE PER AZIONI**
Residenza **ORBASSANO TO**

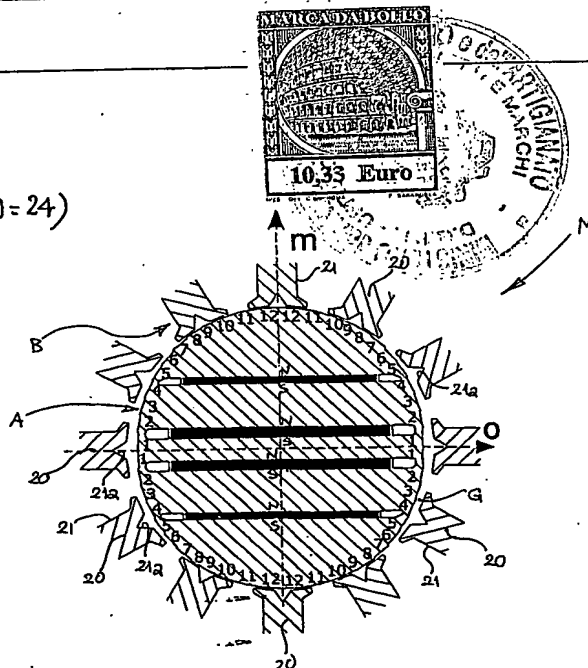
2. TITOLO

MACCHINA ELETTRICA DI TIPO SINCRONOClasse proposta (sez./cl./scl.) **11/11/11**(gruppo/sottogruppo) **11/11/11**

3. RIASSUNTO

La macchina elettrica (M) comprende un indotto (A) ed un induttore (B) fra cui è definito un traferro (G). L'indotto (A) presenta almeno una coppia di poli (N, S), l'induttore (B) presenta, per ogni coppia di poli (N, S) dell'indotto (A), n strutture ferromagnetiche dentali (20) uguali fra loro ed n cave (21), fra loro alternate e presentanti al traferro (G) rispettive estensioni essenzialmente costanti nella direzione di spostamento relativo fra induttore (B) ed indotto (A); l'induttore (B) essendo provvisto di un avvolgimento (W) alloggiato nelle suddette n cave. L'indotto (A) ha la superficie affacciata al traferro (G) ripartita in 2N elementi o campioni (1-12), con N multiplo intero di n, aventi sostanzialmente una medesima estensione in detta direzione di spostamento relativo e presentanti un rispettivo valore di potenziale magnetico (t_i). A ciascun campione (1-12) di indotto (A) è associato un rispettivo valore integrale di permeanza magnetica (p_i) al traferro (G) in una condizione predefinita di allineamento o posizionamento relativo tra l'induttore (B) e l'indotto (A) nella quale il campione si estende fra l'asse di un dente e l'asse intermedio fra tale dente e un dente adiacente in corrispondenza del traferro (G). L'indotto (A) comprende una pluralità di corpi (30, 31, 32; ...) ferromagnetici, magneticamente distinti, ciascuno dei quali accoppia almeno due campioni di indotto in modo tale da assicurarne una sostanziale equipotenzialità magnetica. I potenziali magnetici (t_i) dei singoli campioni (1-12) di indotto (A) ed i suddetti valori di permeanza magnetica integrale (p_i) ad essi associati sono determinati secondo criteri predefiniti. (Figura 9f)

M. DISEGNO

Fig 9f
($m=12, N=24$)

DESCRIZIONE dell'invenzione industriale dal titolo:

"Macchina elettrica di tipo sincrono"

Di: C.R.F. Società Consortile per Azioni, nazionalità italiana, Strada Torino 50, I-10043 Orbassano (Torino); e

TREE S.a.s. di Grugnetti Roberta, nazionalità italiana, Via Le Chiuse 99, I-10143 Torino

Inventori designati: Antonino FRATTA

Depositata il: 29 agosto 2002

2002 A 000757

* * *

DESCRIZIONE

Campo dell'invenzione

La presente invenzione si riferisce in generale alle macchine elettriche di tipo sincrono.

Più specificamente l'invenzione ha per oggetto una macchina elettrica di tipo sincrono comprendente un indotto ed un induttore fra cui è definito un traferro,

l'indotto presentando almeno una coppia di poli;

l'induttore presentando, per ogni coppia di poli dell'indotto, n strutture ferromagnetiche di induttore ed n cave, fra loro alternate e presentanti al traferro rispettive estensioni essenzialmente costanti nella direzione di spostamento rela-

GQ/sr

JACOBACCI & PARTNERS S.p.A.

tivo fra l'induttore e l'indotto;

l'induttore essendo provvisto di un avvolgimento.

Scopi e sintesi dell'invenzione

Uno scopo dell'invenzione è fornire indicazioni atte a permettere la realizzazione di macchine elettriche sincrone di peso contenuto ed elevato rendimento, atte a consentire un compromesso ottimale fra le prestazioni o caratteristiche di tipo quantitativo, quali la densità di coppia o potenza massima ottenibile, e le prestazioni o caratteristiche di tipo qualitativo, quale l'entità dell'ondulazione o ripple delle caratteristiche di uscita della macchina.

L'invenzione ha in particolare lo scopo di realizzare macchine elettriche sincrone caratterizzate da prestazioni quantitative prossime ai limiti fisici, per mezzo del dominio delle distribuzioni di campo magnetico che accoppiano induttore e indotto, in particolare estendendo tale capacità di dominio, e quindi di dimensionamento, proprio nell'intorno dei valori massimi di coppia e/o potenza specificati per ciascuna applicazione.

Uno scopo dell'invenzione è in particolare di fornire indicazioni atte a consentire il dominio

delle prestazioni qualitative della macchina elettrica, in particolare delle ondulazioni dei valori dei suoi parametri, quali coppia e potenza prodotte, ondulazioni che sono inevitabilmente associate ai valori mediamente prodotti e che sono richieste per la conversione elettromeccanica dell'energia. In particolare uno scopo è quello di consentire il frazionamento del periodo di tali ondulazioni a parità di numero di cave (n) dell'induttore.

Nel complesso, lo scopo dell'invenzione è quindi definire una concezione organica di macchina elettrica sincrona capace di evidenziare i parametri liberi, ovvero i gradi di libertà disponibili per il dimensionamento, nonché le proprietà (minime) che gli stessi parametri devono soddisfare, essendo il numero di tali parametri elevato per consentire allo stesso tempo il dominio degli aspetti quantitativi e qualitativi di ciascuna applicazione specifica.

Questo ed altri scopi vengono realizzati secondo l'invenzione con una macchina elettrica di tipo sincrono le cui caratteristiche salienti sono definite nell'annessa rivendicazione 1.

I disegni

Ulteriori caratteristiche e vantaggi dell'in-

venzione risulteranno dalla descrizione dettagliata che segue, effettuata a puro titolo di esempio non limitativo, con riferimento ai disegni allegati, nei quali:

la figura 1a è una vista parzialmente sezionata che mostra la sezione trasversale di una macchina elettrica sincrona rotante secondo l'invenzione con induttore esterno all'indotto;

la figura 1b è una vista parzialmente sezionata che mostra la sezione trasversale di una macchina elettrica sincrona rotante secondo l'invenzione con induttore interno all'indotto;

la figura 2a è una vista parziale schematica che mostra una porzione dell'induttore e una porzione dell'indotto di una macchina elettrica sincrona sviluppate linearmente, corrispondenti a una coppia di poli dell'indotto, con due pseudocave per ciascuna struttura ferromagnetica di induttore;

la figura 2b è una vista parziale schematica che mostra una porzione dell'induttore e una porzione dell'indotto di una macchina elettrica sincrona sviluppate linearmente, corrispondenti a una coppia di poli dell'indotto, con una pseudocava per ciascuna struttura ferromagnetica di induttore;

le figure 3a, 3b, 3c e 3d sono rappresentazio-



JACOBACCI & PARTNERS SpA

ni schematiche parziali di porzioni dell'induttore e dell'indotto di una macchina elettrica sincrona, mostrate in quattro diverse condizioni di allineamento relativo significative per la descrizione che segue;

la figura 4 è una vista parziale sezionata di un indotto di una macchina elettrica sincrona presentante una ripartizione secondo l'invenzione in $N=12$ intervalli per coppia di poli di indotto;

la figura 5 è una rappresentazione parziale lineare di una porzione di induttore e di una corrispondente porzione di indotto;

la figura 6a è una vista parziale sezionata di una macchina elettrica sincrona secondo l'invenzione, $n=N=3$ cave e rispettive strutture dentali di induttore ed una coppia o paio di poli di indotto;

la figura 6b è una vista parziale sezionata di una macchina elettrica sincrona secondo l'invenzione, $n=3$ cave $N=9$ strutture dentali di induttore ed una coppia o paio di poli di indotto;

la figura 6c è una vista parziale sezionata di un'altra macchina elettrica sincrona secondo l'invenzione, $n=3$ cave $N=9$ strutture dentali di induttore ed una coppia o paio di poli di indotto;

la figura 7 è una vista parziale in sezione

trasversale di una macchina sincrona con $n=4$ cave e $N=12$ strutture dentali di induttore e un paio di poli di indotto simmetrici;

la figura 8a è una vista parziale sezionata di una macchina elettrica sincrona secondo l'invenzione, $n=N=6$ cave e strutture dentali di induttore ed una coppia o paio di poli di indotto;

le figure da 8b a 8d sono viste parziali in sezione trasversale di altre macchine sincrone con $n=6$ cave e $N=12$ strutture dentali di induttore e un paio di poli di indotto simmetrici;

la figura 8e è una vista parziale sezionata di una macchina elettrica sincrona secondo l'invenzione, $n=6$ cave e $N=18$ strutture dentali di induttore ed una coppia o paio di poli di indotto;

le figure da 9a a 9e sono viste parziali sezionate di macchine elettriche sincrone secondo l'invenzione con $n=N=12$ cave e strutture dentali di induttore ed una coppia o paio di poli di indotto;

la figura 9f è una vista parziale sezionata di una macchina elettrica sincrona secondo l'invenzione, $n=12$ cave e $N=24$ strutture dentali di induttore ed una coppia o paio di poli di indotto;

le figure 10a e 10b sono sezioni di una macchina sincrona con $n=N=12$ cave e strutture dentali

di induttore e un paio di poli di indotto asimmetrici;

la figura 11 è una vista parziale sezionata di una macchina elettrica sincrona secondo l'invenzione, $n=12$ cave e $N=24$ strutture dentali di induttore ed una coppia o paio di poli di indotto asimmetrici;

la figura 12 è una vista parziale sezionata, che mostra una porzione linearizzata dell'induttore di una macchina sincrona;

la figura 13 è una rappresentazione linearizzata dell'induttore di una macchina sincrona, le cui cave sono realizzate in conformità con la soluzione descritta in relazione alla figura 12, con associato un grafico relativo alla distribuzione dei conduttori di un avvolgimento per l'induttore.

Descrizione

Con riferimento alla figura 1a, una macchina elettrica sincrona M comprende un indotto A, solidale ad un albero H, ed un induttore B.

L'indotto A presenta almeno una coppia di poli magnetici N e S (nord e sud).

L'induttore B presenta, per ogni coppia di poli magnetici dell'indotto A, n strutture ferromagnetiche di induttore 20 e n cave 21, fra loro al-

ternate.

Fra l'induttore B e l'indotto A è definito un traferro G.

Le strutture ferromagnetiche 20 dell'induttore B presentano al traferro una sequenza di denti 20a di estensione sostanzialmente costante secondo detta direzione di spostamento relativo, separati da almeno una pseudocava 21a. La superficie dell'induttore per ogni coppia di poli presenta al traferro complessivamente N denti 20a, separati da N intervalli 21 o 21a ed aventi sostanzialmente la medesima estensione secondo detta direzione di spostamento relativo. Degli N intervalli, n sono costituiti dalle aperture al traferro delle suddette n cave 21 e (N - n) sono costituiti dalle aperture al traferro delle suddette pseudocave 21a. Tali pseudocave 21a sono caratterizzate da un'ampiezza a che è preferibilmente uguale o leggermente maggiore dell'ampiezza c dell'imboccatura delle cave 21, e da una profondità b che è molto maggiore dell'ampiezza del traferro G ma comunque nettamente inferiore alla profondità di una cava 21.

Convenientemente i denti dell'induttore (B) presentano in corrispondenza della superficie di affaccio al traferro (G) un'estensione che, secondo

JACOBACCI & PARTNERS s.p.a.



detta direzione di spostamento relativo, presenta un'ampiezza prossima ad $3/4$ o ad $7/8$ del passo di dentatura ovvero della distanza fra l'asse di un dente e l'asse di un dente adiacente.

In modo per sé noto, l'induttore B è provvisto di un avvolgimento W formato da conduttori avvolti ed allocati nelle cave 21.

Nella figura 1b è mostrata la struttura generale di una macchina elettrica sincrona in cui l'indotto A circonda l'induttore B. Nella figura 1b a parti ed elementi già descritti con riferimento alla figura 1a sono stati attribuiti nuovamente gli stessi simboli alfanumerici.

Una macchina elettrica sincrona può peraltro essere realizzata (in modo per sé noto) con induttore e indotto lineari.

Campionamento dell'indotto

Come apparirà più chiaramente dal seguito, una macchina elettrica sincrona secondo l'invenzione si caratterizza per il fatto che l'indotto A ha la superficie affacciata al traferro ripartita in $2N$ elementi o campioni, aventi sostanzialmente una medesima estensione angolare, ovvero - più in generale - una medesima estensione nella direzione di spostamento relativo fra induttore ed indotto.

Nella figura 1a e 2a con \underline{o} e \underline{m} sono indicati due assi trasversali della macchina: l'asse \underline{o} è l'asse di separazione dei poli dell'indotto A, mentre l'asse \underline{m} è un asse in quadratura con l'asse \underline{o} , ovvero (nel caso di indotto con poli simmetrici) l'asse di simmetria dei poli dell'indotto.

Nelle figure 2a e 2b l'induttore B e l'indotto A della macchina elettrica sincrona M della figura 1a sono rappresentati linearmente sviluppati. L'induttore nell'esempio della figura 2a presenta $n=3$ cave 21, alternate a $n=3$ strutture ferromagnetiche ciascuna delle quali presenta 2 pseudocave 21a. Nel complesso l'induttore della figura 2a presenta $N=9$ denti 20a alternati a $N=9$ intervalli 21, 21a. Corrispondentemente, secondo quanto indicato in precedenza, la superficie dell'indotto A affacciata al traferro G è ripartita due gruppi di $N=9$ elementi o campioni, individuati in ciascun gruppo con i numeri da 1 a 9 procedendo dall'asse \underline{o} verso sinistra per chi osservi la figura 2a.

Ciascun elemento o campione dell'indotto A presenta un rispettivo valore di potenziale magnetico o forza magnetomotrice τ_j (con j che varia da 1 a $N=9$ nella figura 2a) essenzialmente costante sull'estensione del campione nella direzione di mo-

vimento relativo fra induttore ed indotto.

A ciascun campione di indotto è inoltre associato un rispettivo valore integrale p_i di permeanza magnetica al traferro G in una condizione predefinita di allineamento o posizionamento relativo fra l'induttore B e l'indotto A .

La figura 2b presenta la struttura linearizzata di una macchina analoga a quella della figura 2a ma con $n=6$ cave 21, alternate a $n=6$ strutture ferromagnetiche ciascuna delle quali presenta 1 pseudocava 21a. Nel complesso l'induttore della figura 2b presenta $N=12$ denti 20a alternati a $N=12$ intervalli 21, 21a.

Condizioni di allineamento di riferimento

In generale in una macchina con N denti 20a, n cave 21, $(N-n)$ pseudocave 21a e $2N$ campioni per coppia di poli di indotto esistono $2N$ condizioni di allineamento o posizioni relative di riferimento fra l'induttore B e l'indotto A , utili per le considerazioni che verranno svolte nel seguito.

Con riferimento alle figure 3a,3b,3c,3d verranno ora definite le quattro particolari condizioni di allineamento o posizioni relative di riferimento fra l'induttore B e l'indotto A , per il caso illustrato di una macchina con $N/n=2$. Tali posizio-

ni risultano le uniche necessarie e sufficienti per il progetto di tutte le caratteristiche di una macchina elettrica concepita secondo l'invenzione.

Con riferimento alla figura 3a, procedendo ad esempio da sinistra verso destra, a partire da un qualsivoglia asse di cava, una prima condizione di allineamento o posizione relativa di un generico campione i dell'indotto A è quella in cui il campione si estende fra tale asse di cava e l'asse del primo dente a destra rispetto a detto asse di cava.

La figura 3b mostra una seconda condizione di allineamento o posizione relativa di riferimento, in cui il generico campione i dell'indotto si estende fra l'asse di detto primo dente e l'asse della prima pseudocava 21a a destra di detto primo dente.

Nella figura 3c è mostrata una terza condizione di allineamento o posizione relativa di riferimento, in cui il generico campione i dell'indotto A si estende fra l'asse di detta prima pseudocava 21a e l'asse del secondo dente 20a.

La figura 3d mostra l'ultima e in questo caso particolare quarta condizione di allineamento o posizione relativa di riferimento, di un generico campione i dell'indotto A all'interno di un passo



cava, in cui tale campione si estende fra l'asse dell'ultimo dente (ovvero il secondo per $N/n = 2$) e l'asse della cava 21 successiva a quella di partenza.

Analogamente, in generale nel caso di N/n uguale ad un intero qualsiasi, si hanno in un passo-cava $2N/n$ diverse posizioni di allineamento di riferimento per il generico campione i di indotto A, delle quali solo la prima e l'ultima sono definite in relazione a due assi di cava consecutivi, e tutte le altre $2(N/n - 1)$ sono definite in relazione ad assi di pseudocava.

Come si è già accennato in precedenza, in una macchina elettrica sincrona secondo l'invenzione ciascuno dei $2N$ campioni, per coppia di poli, dell'indotto A è realizzato in modo tale che esso si accoppi magneticamente con l'induttore B attraverso il traferro G per mezzo di un rispettivo valore integrale p_i della permeanza magnetica in ciascuna delle condizioni sopradefinite di allineamento o posizione relativa.

Struttura dell'indotto

Come apparirà più chiaramente alla luce degli esempi che verranno dettagliatamente descritti nel seguito, in una macchina sincrona M secondo l'in-

venzione l'indotto A è suddiviso in una pluralità di strati ciascuno dei quali comprende uno o più corpi di materiale ferromagnetico, magneticamente distinti fra loro, ciascuno dei quali corpi accoppia almeno due campioni di indotto in modo tale da assicurarne una sostanziale equipotenzialità magnetica.

Nella figura 4 dei disegni allegati è mostrato qualitativamente l'indotto di una macchina elettrica sincrona M avente strati e corpi di indotto secondo l'invenzione, con poli dell'indotto A specularmente asimmetrici rispetto a qualunque asse ortogonale al traferro, disposti in modo simmetrico rispetto al centro (ovvero all'asse di rotazione).

Conformemente a quanto enunciato in precedenza, l'indotto A della macchina mostrato nella figura 4 ha la superficie affacciata al traferro G ripartita in $2N=24$ elementi o campioni. Tali campioni sono divisi in due gruppi consecutivi di $N=12$ campioni numerati da 1 a 12.

L'indotto A comprende una pluralità di strati e corpi di materiale ferromagnetico. Un primo strato coincide con un corpo 22, o corpo centrale, le cui opposte estremità comprendono ciascuna due campioni di indotto, indicati con 1 e 12, a cavallo

dell'asse \underline{o} . Tale corpo 22 è a potenziale magnetico τ nullo, in quanto subisce eccitazioni magnetiche opposte alle sue estremità.

L'indotto A mostrato nella figura 4 comprende inoltre due strati ulteriori formati da corpi 23, situati da parti opposte rispetto al corpo 22. I corpi 23 presentano conformazione asimmetrica, e disposizione relativa antisimmetrica (in conseguenza della simmetria rispetto al centro imposta a tale indotto). Ciascun corpo 23 si affaccia al traferro G con due insiemi non contigui di campioni che sono fra loro contigui. In particolare, nell'esempio illustrato, ciascun corpo 23 ha un'estremità che si affaccia al traferro G con un campione, indicato con 11 e l'altra estremità che si affaccia al traferro con tre campioni, indicati con 2, 3 e 4.

Negli interspazi definiti fra il corpo centrale 22 ed i corpi 23 sono disposti rispettivi magneti permanenti indicati con 24, magnetizzati in senso sostanzialmente parallelo all'asse \underline{m} , ovvero aventi le polarità magnetiche indicate dalle lettere N e S.

Ciascun polo dell'indotto A mostrata nella figura 4 presenta inoltre un ulteriore strato com-

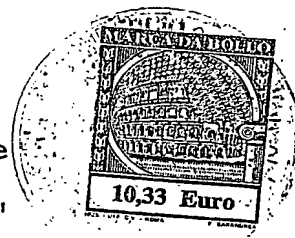
prendente due corpi di materiale ferromagnetico, indicati con 25 e 26. Nell'esempio illustrato nella figura 4 i corpi 25 presentano disposizione geometrica simmetrica rispetto all'asse m , affacciandosi al traferro G con i quattro campioni indicati con 5, 6, 7 ed 8. I corpi 26 si affacciano ciascuno al traferro con due campioni, indicati con 9 e 10, contigui ai campioni dell'associato corpo 25 dello stesso strato.

Fra i corpi 23 e 25 sono definiti interspazi in cui sono collocati rispettivi magneti permanenti 27. Negli interspazi definiti fra i corpi 23 e 26 sono collocati altri magneti permanenti 28.

Permeanze magnetiche interne P_{gj}

Una serie di parametri magnetici propri della struttura dell'indotto è costituita dalle cosiddette permeanze magnetiche interne tra corpi diversi dell'indotto.

In generale, due corpi ferromagnetici g e j , almeno parzialmente adiacenti, sono magneticamente accoppiati dalla permeanza cosiddetta "interna" P_{gj} , rappresentativa di tutto e il solo flusso magnetico scambiato fra tali corpi all'interno della struttura di indotto, cioè senza considerare linee di flusso che in qualche modo interessano il tra-



ferro G.

Corpo dispari

In generale, in una macchina sincrona secondo l'invenzione l'indotto A deve comprendere almeno un corpo ferromagnetico che si affaccia al traferro G attraverso due insiemi non contigui di campioni, ciascuno dei quali comprende un numero dispari di campioni contigui. Tale corpo ferromagnetico verrà nel seguito indicato come "corpo dispari".

Si può verificare che l'indotto di macchina esemplificativamente illustrato nella figura 4 soddisfa tale criterio. Infatti ciascuno dei corpi 23, che comprende i campioni 11 ed i campioni 2, 3 e 4, è un "corpo dispari", che accede al traferro G con due insiemi non contigui di campioni, (11) e (2, 3, 4), ognuno dei quali comprende un numero dispari (uno e rispettivamente tre) di campioni contigui.

Condizione sui valori di permeanza associati ai campioni di ciascun corpo dell'indotto

In generale, in una macchina elettrica sincrona secondo l'invenzione, assegnati ai campioni di indotto rispettivi posti pari ed alternatamente dispari sulla superficie di affaccio al traferro lungo la direzione di spostamento relativo fra induttore ed indotto, per ciascun corpo dell'indotto

avente potenziale magnetico τ sostanzialmente diverso da zero, si ha che

$$\sum_x p_x = \sum_y p_y, \text{ con } x = 2u, y = 2u + 1, u = 0, 1, 2, 3 \dots \quad (1)$$

ovvero la somma delle permeanze magnetiche integrali dei campioni di posto pari è sostanzialmente uguale alla somma delle permeanze magnetiche integrali dei campioni di posto dispari, al fine di minimizzare le variazioni dell'energia magnetica immagazzinata nella macchina al variare della posizione relativa fra l'indotto A e l'induttore B, ed in particolare le variazioni relative alla eccitazione prodotta dai soli magneti permanenti inseriti nella struttura dell'indotto.

L'induttore ed i parametri della macchina

In una macchina sincrona secondo l'invenzione, l'induttore B è convenientemente realizzato in modo tale per cui esso è atto a generare una distribuzione di forza magnetomotrice che viene "vista" dall'indotto A identicamente in tutte le posizioni relative che distano fra loro di un passo di cava P dell'induttore.

Inoltre, con riferimento alle condizioni di allineamento precedentemente definite, i valori di tutti i parametri magnetici della macchina elettri-

ca M calcolati nelle componenti secondo due assi distinti, ad esempio in quadratura fra loro, solidali con l'indotto A, quali gli assi o e m, sono sostanzialmente uguali fra loro in tutte le suddette condizioni di allineamento.

In generale per una macchina elettrica vale la relazione vettoriale:

$$\vec{\lambda} = \begin{bmatrix} \lambda_o \\ \lambda_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_o & L_{om} \\ L_{mo} & L_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_o \\ i_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \psi_o \\ \psi_m \end{bmatrix} \quad (2)$$

in cui:

$\vec{\lambda}$ è il vettore dei flussi concatenati dagli avvolgimenti dell'induttore;

λ_o , λ_m sono le componenti di $\vec{\lambda}$ secondo due assi o ed m propri dell'indotto, in quadratura fra loro; l'asse o essendo un asse di separazione fra poli dell'indotto;

L_o e L_m sono i valori dell'auto-induttanza misurati secondo detti due assi o ed m;

$L_{mo} = L_{om}$ sono i valori dell'accoppiamento mutuo fra forze magnetomotrici e flussi secondo detti assi o ed m;

i_o ed i_m sono le componenti secondo l'asse o ed m del vettore rappresentativo delle correnti circolanti negli avvolgimenti, le quali producono

la forza magnetomotrice complessivamente generata dall'induttore; e

Ψ_o e Ψ_m sono le componenti del flusso concatenato dagli avvolgimenti dell'induttore secondo gli assi \underline{o} ed \underline{m} , rispettivamente, per $i_o=i_m=0$ ovvero in assenza di eccitazione dell'induttore.

In generale, i parametri L_o , L_m , $L_{om}=L_{mo}$, Ψ_o e Ψ_m variano in funzione della coordinata di posizione lungo la direzione di movimento relativo fra induttore ed indotto, ovvero in funzione della coordinata di posizione angolare in una macchina rotante.

Tali parametri presentano un rispettivo valore medio ed una rispettiva ondulazione o ripple.

Invarianza dei parametri della macchina nelle posizioni di riferimento

Una macchina secondo l'invenzione permette vantaggiosamente una minimizzazione del ripple dei suoi parametri, realizzata attraverso una sostanziale uguaglianza delle caratteristiche della macchina in tutte le posizioni di riferimento precedentemente definite. Tale uguaglianza è rappresentata dalle seguenti condizioni:

$$L_{o,k} \cong \text{cost} \quad (3a)$$



$$L_{m,k} \cong \text{cost} \quad (3b)$$

$$L_{om,k} \cong \text{cost} \quad (3c)$$

$$\Psi_{o,k} \cong \text{cost} \quad (3d)$$

$$\Psi_{m,k} \cong \text{cost} \quad (3e)$$

con $k=1,2,\dots, 2N/n$

in cui:

$L_{o,k}$ sono i valori dell'auto-induttanza misurati, nelle $2N/n$ suddette condizioni di allineamento, secondo un primo asse (o) corrispondente all'asse di separazione dei poli (N, S) dell'indotto (A);

$L_{m,k}$ sono i valori dell'auto-induttanza misurati, nelle $2N/n$ suddette condizioni di allineamento, lungo un secondo asse (m) in quadratura con l'asse di separazione (o) dei poli (N, S) dell'indotto (A);

$L_{om,k}$ sono i valori dell'accoppiamento mutuo fra forze magnetomotrici e flussi secondo detti primo e secondo asse (o, m) nelle $2N/n$ suddette condizioni di allineamento;

$\Psi_{o,k}$ sono i valori del flusso concatenato dagli avvolgimenti (W) dell'induttore (B) secondo detto primo asse (o) nelle $2N/n$ suddette condizioni di allineamento; e

$\Psi_{m,k}$ sono i valori del flusso concatenato da-

gli avvolgimenti (W) dell'induttore (B) secondo detto secondo asse (m) nelle $2N/n$ suddette condizioni di allineamento.

Contenuto armonico e subarmonico del ripple

La periodicità dell'ondulazione o ripple dei paramenti di macchina è in generale funzione del passo P delle cave dell'induttore B.

Nelle macchine con $n=3$ e $n=6$ con avvolgimento trifase convenzionale la periodicità dell'ondulazione dei suddetti parametri è esattamente uguale periodo o passo P delle cave dell'induttore.

Per contro, nelle macchine con $n=12$ cave di induttore per ogni coppia di poli dell'indotto, l'ondulazione dei suddetti parametri presenta in generale anche una periodicità doppia, ovvero in $2P$ oltre che in P.

In generale, la sostanziale cancellazione della componente del ripple di periodicità $2P$ dei suddetti parametri in una macchina elettrica può essere ottenuta adottando in alternativa fra loro una delle seguenti soluzioni (di per sé note):

- realizzazione dell'induttore con un avvolgimento esafase, cioè con una coppia di avvolgimenti trifasi diametrali sfasati e alimentati con due terne di correnti trifasi sfasate nel tempo;

- adozione di una (opportuna) distribuzione dei conduttori dell'avvolgimento trifase W dell'induttore B.

La sostanziale cancellazione del ripple con periodicità $2P$ può peraltro essere convenientemente ottenuta mediante la realizzazione dell'induttore con cave di forma differenziata come si descriverà meglio nel seguito.

In generale realizzando la macchina sincrona, secondo l'invenzione, in modo tale che essa presenti tutte le caratteristiche definite nelle rivendicazioni da 1 a 4, riassunte dai sistemi di equazioni derivate dalla (1) e imponendo le equazioni $(3a+3e)$ è possibile cancellare tutte le prime N/n armoniche superiori del passo cava P che - come noto sono quelle di entità e importanza maggiore.

In particolare con $N/n = 1$ (ovvero assenza di pseudocave) è possibile cancellare la prima armonica.

Con $N/n=2$ si possono cancellare la prima e la seconda armonica, con $N/n=3$ si possono cancellare la prima, la seconda e la terza armonica e così via.

Provvedimenti per la ulteriore riduzione del ripple

La prima armonica successiva, ovvero la

$(N/n)+1$, può essere ridotta se l'indotto B viene realizzato (con una tecnica per sé nota, detta di "stepping") in due porzioni assiali sfalsate fra loro di una frazione del passo cava 20 dell'induttore B, inferiore a quanto noto e sostanzialmente pari a $n/4N$. Secondo l'invenzione tali due porzioni di indotto preferibilmente presentano rispettive sezioni trasversali diverse fra loro, peraltro comunque soddisfacenti ciascuna tutte le condizioni definite nei capitoli precedenti. Inoltre, tali porzioni di indotto presentano eventualmente rispettive dimensioni diverse fra loro lungo l'asse ortogonale alla direzione di spostamento relativo tra induttore ed indotto.

La successiva armonica $(N/n)+2$, può essere ridotta sostanzialmente a zero con opportune ampiezze delle aperture od imboccature 21b delle cave 21 e delle pseudocave 21a dell'induttore B. In particolare, è conveniente che dette aperture od imboccature presentino, nella direzione di spostamento relativo fra induttore ed indotto, un'ampiezza prossima ad $1/4$ o, preferibilmente per la riduzione delle altre armoniche, prossima ad $1/8$ del passo $P \cdot n/N$ dei denti 20a dell'induttore.

L'armonica $(N/n)+3$, analogamente all'armonica

JACOBACCI & PARTNERS SpA



$(N/n)+1$, può essere minimizzata realizzando l'indotto A in modo tale che esso presenti quattro porzioni assiali sfalsate fra loro di una frazione del passo cava P dell'induttore B, inferiore a quanto noto e sostanzialmente pari a $n/8N$ del passo P delle cave di induttore, con un valore massimo di $3n/8N$ di sfalsamento tra le porzioni esterne dell'indotto. Tali porzioni, di dimensioni e sezioni trasversali uguali o (eventualmente) diverse fra loro, devono peraltro comunque soddisfare ciascuna tutte le condizioni definite nei capitoli precedenti.

La sequenza dei provvedimenti sopra descritti riduce progressivamente l'entità dell'ondulazione della coppia che si riscontra nelle macchine elettriche al variare della posizione relativa dell'indotto A e dell'induttore B, fino a soddisfare i requisiti più stringenti delle applicazioni di alta qualità, mantenendo la possibilità di dominare il contributo quantitativo di ciascuna porzione della macchina alla coppia totale, applicando a ciascuna porzione anche i criteri per il dominio della quantità del flusso magnetico nei singoli denti dell'induttore, fino ai livelli di coppia massima richiesti, così come apparirà più chiaramente nel se-

guito.

Peraltro, alla macchina secondo l'invenzione sono applicabili le tecniche, per sé note, di "skewing" dell'indotto o dell'induttore.

In questo caso l'invenzione comunque apporta il beneficio sostanziale della cancellazione, sui parametri di ciascuna sezione di macchina, delle prime N/n armoniche, della periodicità P , per cui lo skewing è applicabile per una estensione sostanzialmente ridotta rispetto a quanto usuale e noto allo stato dell'arte ed in particolare pari a $nP/2N$.

Anche in questo caso è consigliabile mantenere la cancellazione della armonica di ordine $(N/n)+2$, attraverso l'adozione dell'opportuna imboccatura di cava o pseudocava secondo quanto sopra esposto. Tuttavia, applicando lo skewing si incrementa il massimo sfalsamento tra sezioni di macchina, riducendo così la possibilità di dominare quantitativamente il campo magnetico in tutte le sezioni, quantomeno nell'intorno della coppia massima, alla quale si manifestano localmente i fenomeni di saturazione magnetica.

Condizioni sulla distribuzione dell'induzione nell'induttore

In sede di progetto una macchina elettrica sincrona viene dimensionata in modo tale che risulti atta ad erogare una coppia massima T_M ed una potenza massima P_M prefissate. Corrispondentemente, l'indotto A di una macchina secondo l'invenzione è realizzato in modo tale per cui nelle condizioni di funzionamento prossime a quella di massima erogazione, in tutte le condizioni di allineamento precedentemente definite, si abbia, preferibilmente, che:

a) la distribuzione di induzione nelle strutture ferromagnetiche dentali 20 di induttore B presenta valori sostanzialmente prossimi, preferibilmente inferiori (per l'efficienza ad elevate velocità), al valore di induzione di saturazione del materiale di dette strutture ferromagnetiche dentali 20 su almeno metà e preferibilmente su non oltre $3/4$ del passo polare dell'indotto A;

b) tale distribuzione di induzione è inoltre sostanzialmente in quadratura con la distribuzione del potenziale magnetico generato dall'induttore in corrispondenza dei denti 20a dell'induttore B; e

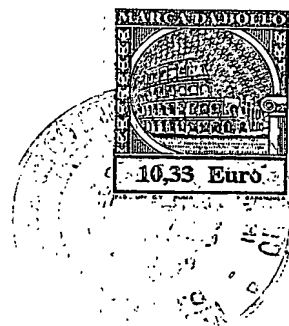
c) detta distribuzione di induzione presenta un andamento che è sostanzialmente crescente monotonicamente per un'estensione pari a un passo pola-

re dell'indotto, e sostanzialmente decrescente monotonicamente per il passo polare successivo o precedente.

In una macchina sincrona reale, il flusso magnetico che passa in una struttura ferromagnetica dentale 20 dell'induttore B non comprende soltanto il flusso scambiato con l'indotto attraverso il traferro, ma anche un flusso che viene scambiato con le strutture dentali contigue (dispersione di cava), per effetto della permeanza magnetica esistente fra tali strutture contigue.

Allo stato dell'arte tale dispersione di flusso rappresenta un limite al raggiungimento delle massime prestazioni teoriche: essa limita, ad esempio, la possibilità di ridurre la dimensione delle aperture di cava, limitando la possibilità di ottenere elevate permeanze al traferro; in ogni caso un'elevata permeanza di dispersione fra le strutture dentali adiacenti comporta, a pieno carico od a carico elevato, l'insorgenza anticipata di fenomeni di saturazione magnetica localizzata in quelle strutture dentali dell'induttore nelle quali tali flussi di dispersione presentano lo stesso segno dei flussi che attraversano il traferro. Tali fenomeni implicano elevati incrementi delle perdite

JACOBACCI & PARTNERS SpA.



nel materiale ferromagnetico dell'induttore, in particolare nelle strutture dentali, e riducono la coppia effettivamente ottenibile per una data corrente circolante negli avvolgimenti dell'induttore.

Calcolo dei flussi e quantità della coppia

A titolo di esempio, con riferimento alla figura 5, in cui $N/n=1$, ovvero le strutture dentali sono prive di pseudocave e supportano un singolo dente, in prima approssimazione il flusso magnetico ϕ_d , che interessa una generica struttura dentale d dell'induttore B in una generica delle condizioni di allineamento sopra definite in cui tale struttura dentale è affacciata ai campioni $i, i+1$ dell'indotto A , può essere espresso nel modo seguente:

$$\begin{aligned} \phi_{d|i,i+1} = & (\tau_d - \tau_i) p_i + (\tau_d - \tau_{i+1}) p_{i+1} + \\ & + [(\tau_d - \tau_{d+1}) + (\tau_d - \tau_{d-1})] \cdot P_\sigma \end{aligned} \quad (3f)$$

in cui

τ_d, τ_{d-1} e τ_{d+1} sono i potenziali magnetici dei denti delle strutture dentali $d, d-1$ e $d+1$, rispettivamente;

τ_i e τ_{i+1} sono i potenziali magnetici dei campioni i ed $i+1$ dell'indotto A ;

p_i, p_{i+1} sono le permeanze magnetiche integrali

associate ai campioni i e $i+1$ dell'indotto A, e

P_o è la permeanza magnetica di dispersione tra due strutture dentali dell'induttore B.

La relazione (3f) sopra riportata consente di calcolare, per ciascuna condizione di allineamento di riferimento, i valori della distribuzione dei flussi (ovvero i valori dell'induzione) nelle strutture ferromagnetiche dentali 20 dell'induttore B, valori che possono preferibilmente soddisfare le condizioni generali a), b) e c) enunciate in precedenza.

In una macchina sincrona secondo l'invenzione le suddette condizioni a), b) e c) possono essere quindi imposte ai parametri τ_1 , p_1 e P_{gj} in modo tale da compensare anche l'effetto dei flussi di dispersione tra le cave sopra descritti, ottenendo così un ulteriore grado di libertà (P_o) nella definizione della forma ottimale delle cave.

L'impostazione generica della equazione (3f) è più semplicemente applicabile nelle condizioni di linearità magnetica dell'induttore, cioè quando la caduta di forza magnetomotrice nel circuito ferromagnetico dell'induttore è sostanzialmente trascurabile rispetto a quella localizzata al traferro.

Tale impostazione generica della (3f) trova comunque piena applicazione a pieno carico, ovvero proprio nei casi di incipiente saturazione magnetica nei quali la caduta di f.m.m. che si localizza in particolare nella struttura ferromagnetica dentale non può essere trascurata a priori.

Tipologie di macchina

Si considereranno ora alcune peculiarità di macchine elettriche sincrone con indotto simmetrico e con indotto asimmetrico.

Macchine con indotto simmetrico

Per indotto simmetrico si intende un indotto in cui, nella sezione trasversale, i poli presentano una simmetria speculare sia rispetto a ciascun asse di separazione dei poli (o) sia rispetto a ciascun asse di polo (m).

Nelle macchine con indotto simmetrico secondo l'invenzione, quale che sia il numero n di cave e strutture ferromagnetiche dentali dell'induttore, e quale che sia il numero N di denti al traferro, si applica il sistema di equazioni (3a÷3e) completo:

$$L_{o,k} \cong \text{cost}$$

$$L_{m,k} \cong \text{cost}$$

$$L_{om,k} \cong \text{cost}$$

$$\Psi_{o,k} \cong \text{cost}$$

$$\Psi_{m,k} \cong \text{cost}$$

con $k=1,2,\dots, 2N/n$

Tuttavia, nelle macchine con indotto simmetrico si ha che per ragioni di simmetria L_{om} assume valore zero in due delle $k=2N/n$ condizioni di allineamento o riferimento. Altrettanto avviene per Ψ_o , al punto che per $N=n$ il sistema di equazioni (3a÷3e) si riduce alle sole 3a, 3b, 3e.

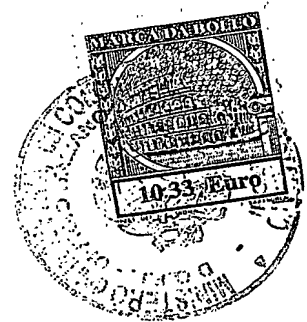
In generale quindi, il numero di equazioni da soddisfare per risolvere il sistema di equazioni (3a÷3e) è pari a $3*(k-1)+2*(k-2)$.

In generale è possibile definire il numero di parametri indipendenti che possono soddisfare le equazioni (3a÷3e).

In virtù della simmetria dell'indotto, il numero delle permeanze magnetiche integrali p_i che possono essere indipendenti fra loro si riduce da $2N$ a $N/2$ nel caso in cui N è pari oppure a $(N+1)/2$ se N è dispari.

Le permeanze magnetiche interne P_{gj} che possono essere indipendenti fra di loro sono pari $N/2$ nel caso in cui N è pari oppure a $(N-1)/2$ se N è dispari.

JACOBACCI & PARTNERS SpA



I potenziali magnetici associati ai campioni di indotto τ_j , diversi da zero, che possono essere indipendenti fra di loro, sono pari a $N/2$ nel caso in cui N è pari oppure a $(N-1)/2$ se N è dispari. In definitiva la totalità dei parametri indipendenti fra loro, per una macchina con indotto simmetrico, risulta uguale a $3N/2$ per le macchine con N pari e uguale a $(3N-1)/2$ per le macchine con N dispari.

Ove il numero dei parametri indipendenti sia maggiore del numero di equazioni è possibile imporre ai parametri eventualmente liberi il soddisfacimento in tutto o in parte delle condizioni a) b) e c) riportate sopra.

Principio della distribuzione inversa delle permeanze al traferro nell'intorno dell'asse o

Nelle macchine con indotto simmetrico l'applicazione della condizione a) espressa in precedenza, cioè della condizione di andamento "piatto" del valore massimo della distribuzione di induzione o flusso nelle strutture dentali, o anche delle condizioni b) e c) ad essa correlate, implica la necessità di introdurre opportuni contenuti armonici in tali distribuzioni, nonché di contrastare, fino all'annullamento, il fenomeno della cosiddetta re-

azione di indotto, in particolare correlato con le armoniche superiori della forza magnetomotrice che eccitano un'intensità di flusso al traferro di valore massimo nell'intorno del o di ciascun asse o di separazione dei poli.

Contrariamente a quanto noto allo stato dell'arte, secondo cui la massima permeanza magnetica viene localizzata in corrispondenza dell'asse o , al fine di ridurre tale reazione di indotto nelle macchine con indotto simmetrico, e per soddisfare le condizioni a), b) e c) espresse in precedenza, è conveniente che la distribuzione dei valori p_i di permeanza magnetica al traferro G associati ai campioni di indotto presenti un minimo locale in corrispondenza dell'asse o di ciascun asse o di separazione dei poli di indotto, ovvero che i valori p_i della permeanza magnetica al traferro siano crescenti in entrambe le direzioni a partire dal o da ciascun asse di separazione dei poli di indotto, tale permeanza magnetica p_i presentando il valore massimo assoluto in corrispondenza di campioni di indotto compresi fra detto o ciascun asse di separazione dei poli di indotto e gli adiacenti assi di simmetria m dei poli di indotto.

Nel seguito il soddisfacimento di tale princi-

pio sulla distribuzione dei valori della permeanza verrà sinteticamente richiamato come "condizione d)".

La posizione del suddetto valore massimo assoluto di permeanza può peraltro risultare vincolata dalla particolare struttura di macchina, oppure può essere ottimizzata in base ai valori di induttanza globale L_0 ed L_m per l'applicazione specifica, oppure ancora può essere determinata, in una macchina reale con un numero N di denti finito, in relazione alla scelta del numero di corpi con cui viene realizzato l'indotto.

Esempi di macchine a indotto simmetrico

Si prenderanno ora in considerazione alcuni esempi di realizzazione di macchine a indotto simmetrico, con riferimento a valori specifici di n .

Esempi di macchine a indotto simmetrico con $n=3$

La macchina più semplice possibile si ottiene con $n=N=3$, come ad esempio mostrato nella figura 6a.

L'indotto A della macchina mostrata nella figura 6a ha la superficie affacciata al traferro ripartita in $2N=6$ elementi o campioni. Tali campioni sono divisi in due gruppi di $N=3$ campioni, numerati da 1 a 3. L'indotto A comprende tre corpi di materiale

ferromagnetico, indicati con 30, 31 e 32, separati da interspazi 33 e 34 in cui sono disposti rispettivi magneti permanenti 35 e 36 magnetizzati in senso parallelo all'asse m , ovvero aventi le polarità magnetiche indicate dalle lettere N e S.

Il corpo centrale 30 dell'indotto A accoppia fra loro i due campioni di indotto contraddistinti con i numeri 1, ed ha potenziale magnetico $\tau_1=0$.

Come la figura 6a consente di apprezzare, il traferro G non presenta in generale una dimensione radiale costante. Le superfici terminali dei denti 20a dell'induttore B giacciono invero essenzialmente su una medesima superficie cilindrica. Peraltro, la superficie dell'indotto A non è cilindrica, in quanto ai singoli campioni dell'indotto sono associate rispettive permeanze magnetiche integrali p_i in genere non uguali fra loro.

Nell'esempio specifico della macchina mostrata nella figura 6a, la permeanza magnetica p_1 associata ai campioni indicati con 1 è minore delle permeanze magnetiche p_2 e p_3 associate ai campioni 2 e 3, le quali peraltro sono uguali fra loro in applicazione dell'equazione (1). La permeanza magnetica associata ai campioni 1 è la minima, per soddisfare la condizione d).



Tale macchina secondo l'invenzione presenta in generale buone caratteristiche dal punto di vista della riduzione della coppia di cogging, anche se presenta un elevato ripple di flusso nei corpi ferromagnetici dell'indotto, ed un considerevole ripple di coppia. Data la modesta possibilità di dominare l'induzione nelle strutture ferromagnetiche dentali dell'indotto al variare della posizione relativa dell'indotto e dell'induttore, nonché la ridotta utilizzazione delle correnti negli avvolgimenti per la generazione di forza magnetomotrice utile, la macchina con $n=N=3$ non è ritenuta in generale particolarmente interessante, se non per applicazioni per piccola coppia e con lunghezza assiale ridotta.

Per tali applicazioni, diviene ancor più interessante l'utilizzazione di una serie di macchine aventi N superiore ad n .

Il caso $n=3$ e $N=6$ non è particolarmente interessante in quanto la struttura di indotto risulta di per se priva del corpo centrale a τ uguale a 0.

Al contrario diversi casi di macchine con $n=3$ e $N=9$ possono avere massimo interesse applicativo.

La struttura di figura 6b permette di raggiungere i massimi livelli di densità di coppia possibili con

$n=3$.

L'indotto A della macchina mostrata nella figura 6b ha la superficie affacciata al traferro ripartita in $2N=18$ elementi o campioni. Tali campioni sono divisi in due gruppi di $N=9$ campioni, numerati da 1 a 9. L'indotto A comprende 9 corpi di materiale ferromagnetico separati da 8 interspazi in cui sono allocati rispettivi magneti permanenti magnetizzati in senso parallelo all'asse \underline{m} , ovvero aventi le polarità magnetiche indicate dalle lettere N e S.

L'induttore B presenta tre strutture ferromagnetiche dentali 20 ciascuna delle quali presenta 2 pseudocave 21a.

Un caso strutturalmente più semplice è riportato nella figura 6c ed ha la particolarità di presentare, per ogni polo di indotto, un magnete permanente direttamente affacciato al traferro.

Tale struttura permette, in generale la diminuzione delle induttanze, nonché un buon compromesso fra densità di coppia e deflussabilità, con una struttura di molto semplificata rispetto a quella riportata in figura 6b.

L'indotto A presenta $N=18$ campioni suddivisi in due gruppi numerati da 1 a 9.

Esso è ripartito in 5 corpi separati da 4 interspa-

zi in cui sono allocati rispettivi magneti permanenti. Un'ulteriore coppia di magneti permanenti è affacciata al traferro abbracciando i campioni numerati da 4 a 7.

L'induttore B presenta 3 strutture dentali 20 in ciascuna delle quali sono realizzate 2 pseudocave.

Esempi di macchine a indotto simmetrico con $n=4$

L'invenzione si applica anche a macchine ad indotto simmetrico con $n=4$, aventi avvolgimento sia di tipo bifase (diametricale) che di tipo tetrafase. In generale macchine con $n=4$ trovano applicazione in piccoli attuatori o sensori elettromeccanici per i quali oltre al caso $N=4$ e $N=8$ può essere di particolare interesse il caso $N=12$ così come mostrato nella figura 7.

L'indotto A della macchina della figura 7 ha la superficie affacciata al traferro ripartita in $2N=24$ elementi o campioni, suddivisi in quattro gruppi di sei campioni, numerati da 1 a 6 per ragioni di simmetria. L'indotto A comprende dodici corpi di materiale ferromagnetico, a due a due uguali fra loro, separati da undici interspazi in cui sono disposti rispettivi magneti permanenti magnetizzati in senso parallelo all'asse \underline{m} . Tali magneti comprendono essenzialmente un magnete centra-

le ed altri magneti, a due a due uguali fra loro.

La macchina della figura 7 manca di un corpo centrale di indotto con $\tau=0$.

L'induttore B presenta $n=4$ strutture dentali con 2 pseudocave ciascuna.

Esempi di macchine a indotto simmetrico con $n=6$

Per le macchine trifasi il massimo interesse può essere invece suscitato dalle soluzioni in cui $n=6$, per le quali è teoricamente prevista la massima efficienza dell'induttore.

Una macchina di tale tipo è mostrata nella figura 8a, dove $n=N=6$ ed i poli di indotto sono necessariamente simmetrici, essendo l'indotto A frazionato nel numero massimo di strati e corpi secondo l'invenzione.

Nella macchina della figura 8a, l'indotto A ha la superficie affacciata al traferro ripartita in $2N=12$ elementi o campioni. Tali campioni sono divisi in quattro gruppi di tre campioni, numerati da 1 a 3, in conseguenza dell'applicazione dell'equazione (1). L'indotto A comprende sei corpi di materiale ferromagnetico, a due a due uguali fra loro, indicati con 40, 41 e 42. I due corpi 40 adiacenti all'asse o sono separati da un interspazio 43 in cui è indicativamente disposto un solo grande ma-



JACOBACCI & PARTNERS S.p.A.

gnete permanente centrale 46.

Ulteriori quattro magneti permanenti, a due a due uguali, indicati con 47 e 48, sono disposti in corrispondenti interspazi 44 e 45, definiti fra i corpi 40 e 41 e, rispettivamente, fra i corpi 41 e 42.

Tutti i magneti permanenti sono magnetizzati in senso parallelo all'asse \underline{m} , ed hanno le polarità magnetiche indicate dalle lettere N e S.

La superficie dell'indotto A non è (in generale) cilindrica, in quanto ai singoli campioni dell'indotto sono associate rispettive permeanze magnetiche integrali p_i soddisfacenti le relazioni definite in precedenza dal punto di vista generale e specificamente la condizione d).

In particolare, essendo comunque la macchina del tipo simmetrico, una equazione è significativa per la correlazione dei valori delle sole permeanze integrali al traferro:

$$(p_1 + p_3) - 2p_2 = 0.$$

Per la condizione della distribuzione inversa precedentemente definita "condizione d", si impone la necessità di $p_1 < p_2$, da cui consegue $p_2 < p_3$ applicando l'equazione soprastante.

Per estendere il dominio della distribuzione

di flusso fino a $\pi/3$ radianti elettrici e magnetici oltre l'asse \underline{o} , all'esterno dell'intervallo fra detto asse \underline{o} e l'asse \underline{m} , all'interno del quale intervallo tale dominio viene primariamente applicato, l'applicazione esatta della condizione a) implicherebbe il seguente rapporto fra le permeanze coinvolte:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{4}{\sqrt{3}} - 1 \cong 1.31,$$

la terza permeanza risultando dunque pari a

$$p_3 \cong 1.24 p_2$$

per cui il rapporto fra le permeanze estreme sarebbe pari a

$$\frac{p_3}{p_1} \cong 1.62.$$

In pratica, dimensionando le permeanze p_1 applicando la condizione a) fino al valore minimo di estensione pari a metà polo, ovvero $\pi/2$, e comunque applicando le condizioni b) e c), fissata la permeanza intermedia p_2 si imporranno convenientemente le seguenti relazioni:

$$0.763 < \frac{p_1}{p_2} < 1 \quad 1 < \frac{p_3}{p_2} < 1.236.$$

La macchina mostrata nella figura 8a è quella che con $n=N=6$ ha il massimo numero di corpi di in-

dotto distinti e può quindi ottenere le massime prestazioni nonostante il basso numero di parametri. Tuttavia un problema può essere dato dal fatto che, come si può rilevare, l'indotto non presenta un corpo centrale con $\tau=0$. Ciò può comportare qualche difficoltà nell'assemblaggio meccanico dell'indotto. Inoltre, tutti i corpi 40-42 dell'indotto A si affacciano al traferro ciascuno in corrispondenza di un unico campione. Ciò comporta un certo ripple di induzione e corrispondenti perdite nel materiale ferromagnetico dell'indotto ad elevate velocità.

Per contro, l'avvolgimento W dell'induttore B viene realizzato con spire diametrali, con efficienza teorica massima.

Sfortunatamente, non risulta possibile imporre tutte le condizioni di qualità e quantità secondo l'invenzione alla macchina con $n=N=6$ e con un corpo centrale a $\tau=0$.

Per realizzare tale scopo è necessario utilizzare un numero superiore N di denti.

In particolare con $n=6$ e $N=12$ è possibile aumentare la disponibilità di corpi indipendenti fino ad un massimo così come è mostrato nella figura 8b.

Nella macchina mostrata in tale figura l'indotto A è ripartita in 12 corpi separati da 11 interspazi in cui sono allocati rispettivi magneti permanenti.

La periferia dell'indotto forma 24 campioni suddivisi in 4 gruppi numerati da 1 a 6.

L'induttore presenta 6 strutture dentali ciascuna delle quali presenta una rispettiva pseudocavità.

La figura 8c mostra una macchina con $n=6$ e $N=12$ con struttura di indotto semplificata in cui, in ciascun polo, un unico corpo comprende convenientemente tutti i campioni da 4 a 6.

Nella figura 8d è mostrata una differente semplificazione della struttura di indotto che ha la caratteristica di presentare un corpo centrale a potenziale magnetico nullo, che è conveniente da un punto di vista meccanico.

In generale per le strutture di indotto di figure 8c e 8d, semplificate rispetto a quella della figura 8b, il numero delle permeante interne P_{gj} libere è ridotto, per cui è conveniente applicare la condizione precedentemente definita condizione d) al fine di aumentare il numero di parametri p_i effettivamente disponibili. In ogni caso si dimo-



stra che tali permeante integrali p_i devono soddisfare quantomeno la semplice serie di relazioni sotto riportate

$$p_1 + p_6 = p_2 + p_5 = p_3 + p_4$$

Tale serie di equazioni implica che qualora $p_i \neq$ costante, per l'applicazione della condizione d) la distribuzione delle p_i deve crescere monotonicamente con il pedice i .

In particolare una soluzione completa e semplificata alle equazioni nel caso della macchina di figura 8d si ottiene imponendo:

$$p_5 = p_6 \text{ per cui } p_1 = p_2$$

e

$$p_4/p_3 = 1,215$$

da cui per il soddisfacimento esatto della condizioni da a) a d) compresa, si richiede:

$$p_6/p_1 = 1,528 \text{ e } p_4/p_1 = 1,387.$$

In generale le macchine con $n=6$ e $N=12$ presentano rispetto a quelle con $n=N=6$ una maggiore qualità e quantità di coppia, nonché una ridotta densità di perdite ferromagnetiche nei corpi di indotto.

Le macchine con $n=6$ possono risultare complessivamente convenienti anche in applicazioni a potenza costante, rispetto a macchine dotate di n su-

periore. Ciò è ottenibile in particolare imponendo $N=18$ così come riportato in figura 8e.

Tale figura presenta l'indotto suddiviso in 7 corpi separati da 6 interspazi in cui sono disposti rispettivi magneti permanenti.

L'indotto di tale macchina presenta un corpo centrale a $\tau=0$ che presenta alle sue estremità due campioni.

I corpi immediatamente adiacenti al corpo centrale presentano un singolo campione 2 per estremità.

I corpi intermedi successivi presentano a ciascuna estremità tre campioni e i corpi più esterni si affacciano al traferro con 8 campioni contigui.

Anche nel caso $N=18$ si applica la condizione d) in modo analogo a quanto fatto per i casi $N=6$ e $N=12$, tuttavia con la disponibilità di un maggior numero di parametri.

Esempi di macchine a indotto simmetrico con $n=12$

Macchine con $n=12$ permangono di interesse applicativo secondo l'invenzione in tutti quei casi nei quali si vogliano minimizzare le perdite ferromagnetiche nell'indotto e nei casi in cui si voglia minimizzare o annullare la quantità di magneti permanenti necessari. Difatti per $n=12$ la distribuzio-

ne di forza magnetomotrice generata dall'induttore presenta una risoluzione notevolmente superiore (ovvero un contenuto armonico decisamente inferiore) rispetto al caso con $n=6$ a tal punto che le prestazioni di qualità richieste, possono essere ottenute con strutture di indotto addirittura più semplici di quelle necessarie con $n=6$.

Per le macchine con $n=N=12$ e con indotto simmetrico il sistema delle due equazioni (3a) e (3b) si trasforma in un sistema comprendente una prima equazione che correla fra loro solo le sei permeanze p_i indipendenti, e una seconda equazione che correla fra loro le permeanze p_i e le permeanze interne P_{gj} .

Dalla prima equazione, è possibile derivare la seguente espressione, semplice e di validità generale:

$$(p_1 - p_6) - (1 + \sqrt{3})(p_2 - p_5) + (2 + \sqrt{3})(p_3 - p_4) = 0 \quad (4a)$$

L'espressione della seconda equazione dipende invece dal numero di corpi ferromagnetici distinti che compongono l'indotto, e quindi dal numero di permeanze interne P_{gj} presenti.

Infine, per le macchine ad indotto simmetrico con $n=N=12$, l'equazione (3e) assume la seguente formulazione di validità generale:

$$\begin{aligned}
(1 - \cos \pi / 12) b_6 - (\cos \pi / 12 - \sqrt{3} / 2) b_5 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{1}{\sqrt{2}} \right) b_4 - \\
+ \left(\frac{1}{\sqrt{2}} - \frac{1}{2} \right) b_3 + \left(\frac{1}{2} - \cos 5\pi / 12 \right) b_2 - (\cos 5\pi / 12) b_1 = 0
\end{aligned} \quad (4b)$$

ove $b_i = \tau_j \cdot p_i$.

L'equazione sopra riportata può essere così riespressa in una forma più sintetica:

$$\sum_{i=1}^6 \left\{ (-1)^{i+1} b_i \cdot \left[\cos \left(\frac{7-i}{12} \pi \right) - \cos \left(\frac{6-i}{12} \pi \right) \right] \right\} = 0 \quad (4c)$$

Nella figura 9a è mostrato un esempio di realizzazione di una macchina sincrona secondo l'invenzione a indotto simmetrico, nella quale, per $n=N=12$, si dispone del massimo numero di corpi di indotto distinti, e quindi del massimo numero possibile di potenziali magnetici distinti e dunque di permeanze magnetiche interne.

L'indotto A della macchina della figura 9a ha la superficie affacciata al traferro ripartita in $2N=24$ elementi o campioni, suddivisi in quattro gruppi di sei campioni, numerati da 1 a 6 per ragioni di simmetria. L'indotto A comprende dodici corpi di materiale ferromagnetico, a due a due uguali fra loro, separati da undici interspazi in cui sono disposti rispettivi magneti permanenti magnetizzati in senso parallelo all'asse \underline{m} . Tali ma-



JACOBACCI & PARTNERS SpA

gneti comprendono essenzialmente un magnete centrale ed altri magneti, a due a due uguali fra loro.

La macchina della figura 9a manca di un corpo centrale di indotto con $\tau=0$, presenta un'elevata complessità strutturale ed un non trascurabile ripple di induzione nei corpi ferromagnetici di indotto, con conseguenti perdite ad elevata velocità.

Per contro, il numero di parametri τ_j , p_i e P_{gj} disponibili è assai elevato, per cui essa si presta a soddisfare esigenze funzionali assai disparate.

Per le macchine a indotto simmetrico, con $n=N=12$, quali quelle mostrate nelle figure da 9a a 9e, l'imposizione delle condizioni a) e c) precedentemente riportate a strutture dentali dell'induttore B situate nell'intorno dell'asse \underline{o} dell'indotto A porta, con riferimento all'equazione (3f) e trascurando P_σ , ad ottenere la seguente condizione:

$$\frac{p_1}{p_2} \geq \frac{\cos(\pi/12)}{2 - \cos(\pi/12)} \cong 0,93. \quad (5a)$$

Per le macchine a indotto simmetrico con $n=N=12$, presentanti un corpo ferromagnetico centrale di indotto con $\tau=0$, quali quelle mostrate nelle figure da 9b a 9e, si ottiene la seguente ulteriore condizione:

$$\frac{|\tau_2|}{\tau_{sp}} \leq \frac{2\sin(\pi/12)}{2 - \cos(\pi/12)} \cdot |\sin\gamma| \cong 0,5 |\sin\gamma| \quad (5b)$$

ove τ_{sp} è il valore massimo della distribuzione di potenziale magnetico prodotto dall'induttore B; e

γ è lo sfasamento spaziale fra il vettore della corrente di induttore (ovvero della forza magnetomotrice di induttore desiderata) e l'asse \underline{o} di separazione dei poli di indotto.

Tali condizioni sono associate con l'applicazione esatta della condizione a) precedentemente riportata e di alcune ipotesi semplificative.

Qualora non si intendano o non si debbano soddisfare in modo esatto tali condizioni è comunque utile l'applicazione del principio generale di distribuzione inversa delle permeanze espresso dalla condizione d) precedentemente definita.

La condizione d) nel caso in esame ($n=N=12$, figure 9a-9e) implica quantomeno la seguente disuguaglianza fra le prime due permeanze:

$$p_1 < p_2 \quad (5c)$$

In definitiva si ottiene il seguente intervallo di valori:

$$0,93 \leq \frac{p_1}{p_2} < 1. \quad (5d)$$

Analogamente la stessa condizione d), estesa

fino a comprendere il terzo valore di permeanza per tutte le macchine a indotto simmetrico con $n=N=12$, in combinazione con la condizione a), porta inoltre alla imposizione delle seguenti disuguaglianze sul rapporto fra la seconda e la terza permeanza:

$$0,86 < \frac{p_2}{p_3} < 1 \quad (5e)$$

le quali si aggiungono alle precedenti per la definizione di macchine dotate in genere di maggiore deflussabilità, a scapito della densità di coppia.

Nella macchina secondo la figura 9b (macchina sincrona con indotto simmetrico, con $n=N=12$) l'indotto A ha la superficie affacciata al traferro G ripartita in $2N=24$ elementi o campioni, suddivisi in quattro gruppi di sei campioni, numerati da 1 a 6. L'indotto A comprende un corpo centrale di materiale ferromagnetico 50, a potenziale magnetico $\tau=0$. La presenza di un corpo ferromagnetico centrale è vantaggiosa dal punto di vista meccanico, in quanto tale corpo bene si presta all'accoppiamento dell'indotto A ad un albero.

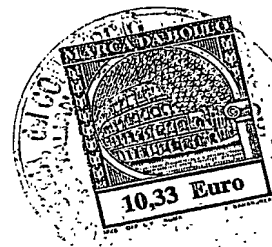
L'indotto A della macchina secondo la figura 9b comprende poi altri otto corpi di materiale ferromagnetico, a due a due uguali fra loro, indicati con i numeri 51-54. Fra i corpi ferromagnetici del-

l'indotto sono definiti otto interspazi, a due a due uguali fra loro, indicati con 55-59, in cui sono disposti rispettivi magneti, a due a due uguali fra loro, indicati con 60-63.

Rispetto alla macchina mostrata nella figura 9a, la macchina secondo la figura 9b presenta una minor complessità strutturale, il vantaggio di un corpo ferromagnetico centrale nell'indotto, e perdite nell'indotto ridotte. Ciò a fronte di una riduzione dei gradi di libertà disponibili nella definizione delle caratteristiche della macchina, che rimangono comunque ancora piuttosto elevati.

Sempre con riferimento alla figura 9b, nei casi in cui si intende applicare le equazioni (5d) e (5e) per ottenere una macchina dotata di migliore deflussibilità e capace di limitare drasticamente la cosiddetta corrente di corto-circuito, cioè la corrente che fluisce nell'avvolgimento in corrispondenza del corto-circuito trifase ad elevata velocità, è possibile ottenere una peculiare riduzione di complessità eliminando i magneti 61 posti tra i corpi 51 e 52, dimensionando opportunamente i collegamenti meccanici e magnetici fra gli stessi corpi. Infatti, l'applicazione della (5a) in senso stretto ed il risultante potenziale τ_2 dato dalla

JACOBACCI & PARTNERS SpA



(5b), porta al seguente risultato:

$$|\tau_3| < |\tau_2| \quad (5f)$$

in aggiunta all'applicazione della (5e), per cui risulta possibile l'eliminazione dei magneti 61 pur applicando le condizioni a) e c).

Con qualche parziale deroga alle condizioni di quadratura b) e monotonicità c), è analogamente possibile eliminare anche i magneti 63 fra i corpi 53 e 54.

Nella figura 9c è mostrata un'ulteriore macchina sincrona con indotto simmetrico con $n=N=12$. Tale macchina, così come quella precedentemente considerata, ha un indotto con un corpo centrale 70 di materiale ferromagnetico a potenziale magnetico $\tau=0$. L'indotto A comprende poi altri quattro corpi di materiale ferromagnetico a due a due uguali fra loro, indicati con 71 e 72. Fra i corpi di indotto sono definiti quattro interspazi, a due a due uguali fra loro, indicati con 73 e 74, in cui sono alloggiati rispettivi magneti permanenti, anch'essi a due a due uguali fra loro, indicati con 75 e 76.

La macchina mostrata nella figura 9c rappresenta una possibile soluzione di macchina sincrona ottimale. In effetti essa presenta una relativa

semplicità strutturale, il vantaggio di un corpo ferromagnetico centrale nell'indotto, perdite nell'indotto piuttosto modeste, ed un ridotto numero di magneti permanenti. Il numero di parametri disponibili rimane comunque sufficientemente elevato per soddisfare le esigenze funzionali e raggiungere il massimo di densità di coppia (o forza).

Imponendo i vincoli relativi alla struttura di indotto mostrata in figura 9c, l'equazione (4a) rimane inalterata, in quanto indipendente dalla struttura di indotto; ad essa si associa l'equazione che segue, la quale coinvolge le permeanze interne, fornendo così la soluzione completa del sistema delle due equazioni generali (3a) e (3b):

$$\varphi_{10} = P_2 \frac{p_2(\varphi_{12} + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 \left[\frac{1}{4} - \cos^2 \left(\frac{5}{12} \pi \right) \right] + \varphi_{12} \left[F5 - 2 \cos \left(\frac{5}{12} \pi \right) \right]}{(F0^2 - F5^2)} - \varphi_{12} - P_2$$

ove:

P_{10} è la permeanza magnetica fra lo strato a potenziale magnetico nullo (numerato con 0) e lo strato successivo (numerato con 1),

P_{12} è la permeanza magnetica fra lo strato 1 e lo strato successivo (numerato con 2),

$F0$ è un parametro avente la seguente espressione:

$$F0 = \left[(p_3 + p_4) \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) + (p_5 + p_6) \cos\left(\frac{\pi}{12}\right) \right], \quad e$$

F5 è un parametro avente la seguente espressione

$$F5 = \left[p_3 \cos\left(\frac{\pi}{3}\right) + (p_4 + p_5) \cos\left(\frac{\pi}{6}\right) + p_6 \right].$$

Infine, l'equazione (4b), derivata dalla (3e), si può sviluppare come segue:

$$\tau_{3-6} \left[\left(1 - \cos\frac{\pi}{12} \right) p_6 - \left(\cos\frac{\pi}{12} - \frac{\sqrt{3}}{2} \right) p_5 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2} \right) p_4 - \left(\frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{1}{2} \right) p_3 \right] + \tau_2 \left(\frac{1}{2} - \cos\frac{5\pi}{12} \right) p_2 = 0$$

ove:

τ_{3-6} rappresenta il potenziale magnetico, comune, dei campioni 3, 4, 5, 6.

L'applicazione, a tale macchina, delle condizioni a), b), c), estesa nel senso di ottenere le massime prestazioni di densità di coppia, richiede infine che la distribuzione delle permeanze p_3 , p_4 , p_5 soddisfi il seguente sistema di disequazioni:

$$p_5 > p_4 > p_3$$

e, essendo p_2 e p_1 determinati secondo la condizione d), p_6 risulta dall'imposizione della equazione (4a).

In generale p_6 risulta di molto inferiore ai valori massimi rappresentati da p_2 o p_5 , per cui il dominio dell'induzione magnetica nei denti è possi-

bile effettivamente in corrispondenza di sette campioni di indotto, equivalenti a $7/12$ del passo polare, a cavallo dell'asse o, di cui cinque da un lato (numerati in figura 9c con 1, 2, 3, 4, 5 partendo dall'asse o e procedendo in un verso), e due dal lato opposto (partendo dall'asse o e procedendo nell'altro verso a coprire i campioni 1 e 2 in figura 9c).

Analoghe considerazioni valgono per la macchina mostrata nella figura 9d, che è sempre del tipo con $n=N=12$. Tale macchina si differenzia rispetto a quella della figura 9c essenzialmente per il fatto che l'indotto A presenta una coppia aggiuntiva di corpi, cioè oltre ad un corpo ferromagnetico centrale 80, sei corpi ferromagnetici a due a due uguali fra loro, da 81 ad 83. Fra i corpi di indotto sono definiti sei interspazi a due a due uguali fra loro, 84-86, in cui sono allocati rispettivi magneti permanenti 87-89, anch'essi a due a due uguali fra loro.

Rispetto a quella precedentemente considerata, la macchina secondo la figura 9d presenta una struttura leggermente più complessa, un più elevato numero di corpi di indotto e di magneti permanenti, e un numero corrispondentemente più elevato di gra-

JACOBACCI & PARTNERS S.p.A.



di di libertà nella definizione delle sue caratteristiche.

In questa configurazione di macchina ciascun magnete 89 ha la funzione di estendere, rispetto alla configurazione della macchina di figura 9c precedentemente descritta, il dominio dell'induzione anche ad uno dei due campioni 6 adiacenti all'asse m.

In questo modo il dominio dell'induzione, secondo quanto espresso dal principio o condizione a), si può estendere a otto campioni, numerati con 1, 2, 3, 4, 5, 6 in figura 9d a partire dall'asse o procedendo in un verso, e con 1, 2 a partire dall'asse o procedendo nel verso opposto, tale estensione corrispondendo complessivamente a $2/3$ del passo polare.

Inoltre, poiché la permeanza al traferro p_6 risulta discretamente inferiore alla permeanza massima al traferro, rappresentata da p_2 o p_5 , il dominio dell'induzione secondo la condizione a) in forma non stretta, e secondo comunque la condizione c), si estende quasi fino a nove campioni (7+2), comprendendo in pratica entrambi i campioni 6 adiacenti all'asse m; tale estensione corrisponde approssimativamente a $3/4$ del passo polare.

In altre applicazioni, la massima densità di coppia può non essere prioritariamente richiesta, a favore di altre caratteristiche, quali la densità di potenza, cioè l'efficienza ad elevate velocità, oppure la cosiddetta deflussabilità, cioè la possibilità di alimentare la macchina a potenza e tensione costanti su un dato intervallo di velocità di scorrimento relativo tra induttore ed indotto.

In tali casi il ridurre la densità di coppia, ovvero l'applicare le condizioni a) e b) in modo minimale e non stretto, offre ulteriori gradi di libertà per aumentare rendimento e deflussabilità.

Ad esempio, nella figura 9e è disegnata una struttura avente ancora un corpo centrale 80 a $\tau=0$ ottenuto unendo i corpi che accedono al traferro attraverso i campioni 1, nonché altri due corpi cosiddetti "pari" 82 ottenuti unendo i campioni 3 e 4, ed altri due corpi "pari" 83 ottenuti unendo i campioni 5 e 6. Tutti questi corpi presentano ridotte perdite nel materiale ferromagnetico che li realizza. I soli corpi "dispari", necessari e sufficienti secondo l'invenzione, sono i corpi 81 che accedono al traferro attraverso i campioni 2.

In macchine con indotto simmetrico con $n=12$ e $N=24$ è possibile ottenere analoghe e più affinate

caratteristiche quantitative e qualitative in virtù dell'elevatissimo numero di parametri disponibili. Infatti è possibile ottenere le migliori caratteristiche delle macchine con $n=N=12$ e corpo centrale con $\tau=0$, attraverso strutture di indotto semplificate.

Un esempio è riportato nella figura 9f dove numerando i campioni da 1 a 12 a partire da ciascun semiasse \underline{o} verso ciascun semiasse \underline{m} in questo caso il corpo centrale a $\tau=0$ comprendente i soli campioni 1, presenta un'estensione dimezzata rispetto al caso di $N=12$, nonché un solo corpo dispari comprendente i tre campioni da 2 a 4, distinto dall'ulteriore corpo comprendente tutti i campioni restanti da 5 a 12.

Macchine a indotto simmetrico con $n>12$

Queste rivestono in genere minore interesse, in quanto inefficienti per la conversione delle correnti in f.m.m. nell'induttore. Secondo l'invenzione, l'ulteriore incremento dei gradi di libertà di progetto da gestire, ottenibile con $n>12$, non risulta particolarmente vantaggioso nei confronti di quanto ottenibile dall'incremento di N rispetto ad n .

In ogni caso il maggior numero di gradi di libertà può essere gestito in modo analogo a quanto indicato con riferimento al caso $n=12$.

Macchine con indotto asimmetrico

Si considereranno ora le macchine a indotto asimmetrico e prive di qualsivoglia asse di simmetria speculare.

Tali macchine possono essere idonee in applicazioni altrettanto asimmetriche in termini di coppia (o forza) richiesta, al limite richiesta con un solo segno ovvero richiesta con specifiche stringenti relativamente ad un solo segno della coppia (o forza).

Per questa categoria di macchine valgono tutte le relazioni (3a-3e) riportate in precedenza, tutti i parametri ivi comparenti essendo in generale diversi da zero.

In generale, anche in questo caso, il sistema delle tre serie di equazioni 3a), 3b) e 3c) si può convenientemente trasformare in un altro sistema di tre serie di equazioni, in due delle quali compaiono le sole permeanze al traferro p_i , mentre nella terza compaiono anche le permeanze interne P_{gj} .

Oltre alle cinque relazioni (3a-3e), convenientemente per queste macchine valgono anche le



condizioni sull'induzione a), b) e c) riportate in precedenza, tuttavia applicate alla coppia del solo segno richiesto o specificato per le migliori prestazioni.

In ogni caso, una totale asimmetria comporta il fatto che le permeanze magnetiche integrali p_i indipendenti siano in numero pari ad $2N$.

Differentemente, un caso di elevato interesse pratico, è rappresentato dalle macchine che, pur non presentando alcun asse di simmetria speculare, comunque presentano i poli, di polarità magnetica opposta, mutuamente simmetrici rispetto al centro di rotazione, nel caso delle macchine rotanti. In questo caso il numero di permeanze magnetiche integrali p_i indipendenti si dimezza, divenendo pari a N .

Analoghe considerazioni possono essere condotte per tutti gli altri parametri interni τ_j e P_{gj} che quindi si dimezzano in numero, in caso di simmetria rispetto al centro.

Nel complesso, per le macchine a indotto asimmetrico, i parametri τ_j , p_i e P_{gj} sono quindi più numerosi, ma soggiacciono anche ad un più elevato numero di condizioni rispetto al caso delle macchi-

ne a indotto simmetrico. Vi sono in generale più gradi di libertà nel progetto, i quali possono essere convenientemente utilizzati ad esempio per conseguire riduzioni dei costi e/o migliori prestazioni.

Le macchine senza assi di asimmetria speculare sono particolarmente interessanti in quanto consentono di realizzare indotti anche molto semplici pur aumentando convenientemente il numero di gradi di libertà.

Macchine con simmetria al centro con n=12

Un caso di particolare interesse si ottiene per $n=N=12$ e con simmetria rispetto al centro.

In tal caso il sistema di equazioni da 3a) a 3c) si riesprime come un sistema composto da due equazioni comprendenti le sole p_i come segue:

$$[(p_1 + p_{12}) - (p_6 + p_7)] - (1 + \sqrt{3})[(p_2 + p_{11}) - (p_5 + p_8)] + (2 + \sqrt{3})[(p_3 + p_{10}) - (p_4 + p_9)] = 0 \quad (6a)$$

$$[(p_1 - p_{12}) + (p_6 - p_7)] - (\sqrt{3} - 1)[(p_2 - p_{11}) + (p_5 - p_8)] + (2 - \sqrt{3})[(p_3 - p_{10}) - (p_4 - p_9)] = 0 \quad (6b)$$

nonché da una terza equazione, correlante anche le P_{gj} , che necessariamente dipende, come detto in precedenza, dal numero di corpi magneticamente distinti in cui è diviso l'indotto.

Le equazioni 3d) e 3e), inoltre, avendo defi-

nito:

$$b_i = \tau_j p_i,$$

si riesprimono come segue:

$$\begin{aligned} & \sin\left(\frac{\pi}{12}\right)(b_6 - b_7) + \left[\sin\left(\frac{\pi}{12}\right) - \frac{1}{2}\right](b_5 - b_8) + \left[\frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{1}{2}\right](b_4 - b_9) + \\ & + \left[\frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}\right](b_3 - b_{10}) + \left[\cos\left(\frac{\pi}{12}\right) - \frac{\sqrt{3}}{2}\right](b_2 - b_{11}) + \left[\cos\left(\frac{\pi}{12}\right) - 1\right](b_1 - b_{12}) = 0 \end{aligned} \quad (6c)$$

$$\begin{aligned} & \left[1 - \cos\left(\frac{\pi}{12}\right)\right](b_6 + b_7) + \left[\frac{\sqrt{3}}{2} - \cos\left(\frac{\pi}{12}\right)\right](b_5 + b_8) + \left[\frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2}\right](b_4 + b_9) + \\ & + \left[\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2}\right](b_3 + b_{10}) + \left[1 - \sin\left(\frac{\pi}{12}\right)\right](b_2 + b_{11}) - \sin\left(\frac{\pi}{12}\right)(b_1 + b_{12}) = 0 \end{aligned} \quad (6d)$$

Nella figura 10a è mostrata una macchina M a indotto asimmetrico e simmetrico al centro con $n=N=12$. La periferia dell'indotto A di tale macchina comprende ventiquattro campioni, divisi in due gruppi di dodici, numerati da 1 a 12.

L'indotto A comprende un corpo centrale di materiale ferromagnetico 100 che a ciascuna delle sue estremità presenta un'estensione angolare pari a 4 campioni. L'indotto A comprende inoltre altri quattro corpi ferromagnetici, a due a due uguali fra loro, indicati con 101 e 102.

Fra i corpi ferromagnetici di indotto A sono definiti quattro interspazi, a due a due uguali fra loro, 103 e 104, in cui sono allocati rispettivi

magneti, anch'essi a due a due uguali fra loro, 105 e 106.

La macchina mostrata nella figura 10a presenta caratteristiche pressoché ottimali: elevata robustezza meccanica, basse perdite, ridotto numero di parti e in particolare di magneti permanenti, agevole accoppiamento ad un albero, elevato numero di gradi di libertà di progetto, mantenendo inoltre una certa funzionalità anche in relazione al verso di coppia opposto a quello di progetto.

Nella figura 10b è mostrato un altro modo di realizzazione di una macchina sincrona a poli di indotto asimmetrico con simmetria rispetto al centro con $n=N=12$, caratterizzato da prestazioni più spiccatamente asimmetriche. In tale figura, a parti ed elementi essenzialmente corrispondenti a quelli della macchina secondo la figura 10a sono stati attribuiti nuovamente gli stessi numeri di riferimento.

Nella macchina secondo la figura 10b il corpo centrale 100 a $\tau=0$ dell'indotto A è esteso, a ciascuna delle sue estremità, su quattro campioni. I corpi ferromagnetici esterni 102 presentano un'estensione di quattro campioni ciascuno, anziché di sei come nella macchina della figura 10a. Inol-



JACOBACCI & PARTNERS S.p.A.

tre, i corpi ferromagnetici intermedi 101 si estendono ad un'estremità su un singolo campione, e su tre campioni all'altra estremità.

Anche la macchina secondo la figura 10b presenta essenzialmente le stesse caratteristiche vantaggiose sopra esposte in relazione alla macchina secondo la figura 10a, tuttavia con particolarità costruttive ed applicative che possono renderla preferibile.

Macchine con simmetria speculare rispetto al solo asse m e con $n=12$

Un ulteriore caso di particolare interesse pratico è rappresentato dalle macchine che presentano poli differenziati, per cui ciascun asse o di separazione dei poli non è asse di simmetria speculare, ma nelle quali ciascun polo è specularmene simmetrico rispetto al suo asse m .

In tali macchine il numero di parametri liberi è più elevato che per le macchine con indotto simmetrico. Tuttavia, se il numero n di cave è pari, le caratteristiche di coppia della macchina si mantengono completamente simmetriche.

Una macchina, secondo l'invenzione, di questa tipologia è illustrata in figura 11 dove $n=12$ (pari) e $N=24$.

Il polo denominato positivo in cui l'asse di simmetria è m , risulta essere differente dal polo denominato negativo in cui l'asse di simmetria è $-m$.

In entrambi i poli si distinguono 3 corpi diversi dal corpo centrale sul quale giace l'asse o . Nel polo negativo (ovvero quello inferiore nella figura 11) un primo corpo è ottenuto coinvolge i campioni da 8 a 12 e quelli specularmene simmetrici rispetto all'asse $-m$, un secondo da 5 a 7 e un terzo comprende i campioni 3 e 4, mentre nel polo positivo un primo corpo comprende i campioni da 7 a 12, un secondo da 4 a 6 e un terzo i soli campioni 2 e 3.

L'indotta presenta un corpo centrale, che non è a potenziale magnetico nullo ma può svolgere identiche funzioni meccaniche e che comprende i campioni 1 (positivo), 1 (negativo) e 2 (negativo).

A questa macchina si possono applicare tutte le equazioni 3a÷3e e tutte le condizioni da a) a d) come fatto per gli altri casi precedenti, per ciascuno o per entrambi i segni della coppia, indifferentemente, in virtù del numero pari di cave n . Nella macchina secondo la figura 11 è possibile realizzare una distribuzione dei valori (p_i) di

permeanza magnetica al traferro (G) associati ai campioni di indotto presentante un minimo locale in un campo che si estende per un'ampiezza pari a 3 campioni intorno all'asse (o) oppure a ciascun asse di separazione dei poli di indotto essendo tale asse o ciascun asse di separazione dei poli coincidente o prossimo, entro più o meno un campione, all'asse lungo il quale si trova il valore massimo di autoinduttanza presente ai terminali dell'avvolgimento di induttore.

In tal caso convenientemente i valori (p_i) della permeanza magnetica al traferro (G) sono crescenti lungo il traferro (G) in entrambe le direzioni a partire dal suddetto minimo locale, tale distribuzione di permeanza magnetica (p_i) presentando il valore massimo assoluto in corrispondenza di campioni di indotto compresi fra detto o ciascun asse di separazione dei poli di indotto (o) e gli adiacenti assi (m) che sono in quadratura con detti assi (o) di separazione dei poli di indotto.

Provvedimenti sull'induttore per la cancellazione del ripple "subarmonico"

In generale, nelle macchine con $n=12$, con poli di indotto simmetrici od asimmetrici, la cancellazione del ripple di periodicità $2P$ (P essendo il

passo di cava) dei parametri magnetici lungo la direzione di movimento relativo fra induttore ed indotto è attuabile realizzando le cave dell'induttore B in modo che presentino forma differenziata come si descriverà qui appresso con riferimento alle figure 12, 13.

Nella figura 12 è mostrata una porzione linearizzata dell'induttore B con due cave adiacenti 21' e 21" aventi differenti ampiezze b' e b'' . Tali cave sono comprese tra strutture ferromagnetiche dentali 20 aventi essenzialmente dimensioni identiche e forma speculare rispetto all'asse della cava, ed aventi comunque rispettive denti 20a al traferro che presentano una medesima estensione nella direzione di spostamento relativo tra induttore ed indotto. Anche le imboccature 121a delle cave 21' e 21" presentano la medesima estensione secondo detta direzione di spostamento relativo.

Convenientemente, per ottenere una sostanziale cancellazione del ripple e al contempo una massima efficienza della macchina le cave dell'induttore B presentano alternatamente ampiezze che stanno fra loro sostanzialmente nel rapporto $\sqrt{3}/2$, come le ampiezze indicate con b' e b'' nella figura 12.

La figura 13 mostra un induttore linearizzato

JACOBI & PARTNERS S.p.A.



realizzato con cave ad ampiezza diversificata secondo quanto sopra descritto.

Il grafico nella parte inferiore della figura 13 rappresenta convenzionalmente la distribuzione dei conduttori dell'avvolgimento di una fase dell'induttore B in un motore sincrono trifase secondo l'invenzione, finalizzata all'ottenimento di massime prestazioni. Tale figura mostra in ordinata la f.m.m. prodotta da una delle tre fasi, le cui variazioni sono correlate con il numero di conduttori disposti nelle cave, in funzione della coordinata di posizione (secondo la direzione di spostamento relativo fra induttore ed indotto) riportata in ascissa, e riferita alla porzione linearizzata di induttore mostrata nella figura 13.

In ciascuna cava "ristretta" $21'$ dell'induttore, avente larghezza b' , vengono alloggiati $\sqrt{3}z$ conduttori di una sola fase, z conduttori della medesima fase essendo alloggiati nelle due cave "allargate" $21''$ contigue aventi larghezza b'' . Le cave $21''$ sono allargate in quanto debbono accogliere anche z conduttori di un'altra delle tre fasi. L'isolamento fra le fasi può richiedere che b'' sia in pratica leggermente maggiore di $2b'/\sqrt{3}$, mentre

l'isolamento verso i strutture ferromagnetiche dentali di induttore riduce tale incremento.

L'assenza di cosiddette "subarmoniche" (periodo $2P$) di tale distribuzione di conduttori si può dedurre, tra l'altro, dalla cancellazione del cosiddetto "doppino" di quinta e settima armonica della distribuzione di fase. Essendo l'ampiezza Z_h della "h-esima" armonica descritta da:

$$Z_h = \frac{4}{\pi} z \left[\frac{\sqrt{3}}{2} + \cos h \frac{\pi}{6} \right] \frac{1}{h} \quad \forall h \text{ dispari},$$

si può notare come per $h=5,7$ risulti $Z_5 = Z_7 = 0$.

La componente fondamentale risulta invece $Z_1 = \frac{4}{\pi} \sqrt{3} z$ per cui il rapporto tra ampiezza fondamentale e valore massimo della distribuzione dei conduttori risulta

$$\frac{Z_1}{\left(1 + \frac{\sqrt{3}}{2}\right) z} = \frac{4}{\pi} \frac{2\sqrt{3}}{2 + \sqrt{3}} = \frac{4}{\pi} 2\sqrt{3}(2 - \sqrt{3}) = \frac{4}{\pi} 0,9282$$

Per confronto, e secondo quanto noto, partendo dalla consueta distribuzione di conduttori a passo raccorciato nella quale due cave contigue uguali ospitano z conduttori di una fase, inserendo un numero kz di conduttori nelle due cave contigue alle prime due è possibile cancellare il doppino di

quinta e settima armonica.

Tale transizione della distribuzione di conduttori è anche nota come (1, 3, 3, 1) in quanto il contenuto armonico della transizione (kz, z, z, kz) è così descritto analiticamente:

$$Z'_h = \frac{4}{\pi} z \left[\cos h \frac{\pi}{12} + k \cos h \frac{\pi}{4} \right] \frac{1}{h} \quad \forall h \text{ dispari}$$

per cui il doppino di quinta e settima si annulla per $k=0,3660$, cioè $\frac{\sqrt{3}-1}{2}$, numero in pratica ben approssimato da $1/3$. Tuttavia il rapporto tra l'ampiezza fondamentale e l'ampiezza massima della distribuzione di conduttori risulta

$$\frac{Z'_1}{z(1+0,366)} = \frac{4}{\pi} \frac{\cos \frac{\pi}{12} + \frac{1}{2}(\sqrt{3}-1) \cos \frac{\pi}{4}}{1 + \frac{1}{2}(\sqrt{3}-1)} = \frac{4}{\pi} 0,8965$$

In definitiva, la realizzazione dell'induttore secondo l'invenzione permette di incrementare del 3,5% il coefficiente di conversione della corrente in f.m.m, ovvero di ridurre di circa il 7% la dissipazione nel rame a parità di f.m.m. fondamentale prodotta.

La transizione della distribuzione di conduttori secondo l'invenzione può essere descritta in via di principio dalla sequenza (1, $\sqrt{3}$, 1). Vari

numeri interi sono in grado di approssimarla con ottima accuratezza, il minimo numero intero a fattore comune essendo pari a 3, ottenendo in tal caso la sequenza approssimata (3, 5, 3). Altre sequenze sono ovviamente ottenibili con interi più grandi, e tra loro le (4, 7, 4), (7, 12, 7), (8, 13, 8), (11, 19, 11) ecc. risultano particolarmente accurate.

Naturalmente, fermo restando il principio del trovato, le forme di attuazione ed i particolari di realizzazione potranno essere ampiamente variati rispetto a quanto è stato descritto ed illustrato a puro titolo di esempio non limitativo, senza per questo uscire dall'ambito dell'invenzione, come definito nelle annesse rivendicazioni.

JACOBACCI & PARTNERS S.p.A.



RIVENDICAZIONI

1. Macchina elettrica di tipo sincrono (M), comprendente un indotto (A) ed un induttore (B) fra cui è definito un traferro (G);

l'indotto (A) presentando almeno una coppia di poli (N, S),

l'induttore (B) presentando, per ogni coppia di poli (N, S) dell'indotto (A), n strutture ferromagnetiche dentali (20) uguali fra loro ed n cave (21), fra loro alternate e presentanti al traferro (G) rispettive estensioni essenzialmente costanti nella direzione di spostamento relativo fra induttore (B) ed indotto (A); l'induttore (B) essendo provvisto di un avvolgimento (W) alloggiato nelle suddette n cave; la macchina (M) essendo caratterizzata dal fatto che:

l'indotto (A) ha la superficie affacciata al traferro (G) ripartita in $2N$ elementi o campioni (1-12), con N multiplo intero di n , aventi sostanzialmente una medesima estensione in detta direzione di spostamento relativo;

ciascuna di dette strutture ferromagnetiche dentali dell'induttore presentando al traferro una sequenza di denti (20a) di estensione sostanzialmente costante secondo detta direzione di sposta-

mento relativo, separati da almeno una pseudocava (21a), per cui la superficie dell'induttore per ogni coppia di poli presenta al traferro complessivamente N denti (20a) separati da N intervalli, dei quali, n sono costituiti dalle aperture al traferro delle suddette n cave e $(N - n)$ sono costituiti dalle aperture al traferro delle suddette pseudocave (21a);

ciascun campione (1-12) di indotto (A) avendo un rispettivo valore di potenziale magnetico (τ_i) essenzialmente costante sull'estensione del campione;

a ciascun campione (1-12) di indotto (A) è associato un rispettivo valore integrale di permeanza magnetica (p_i) al traferro (G) in una condizione predefinita di allineamento o posizionamento relativo tra l'induttore (B) e l'indotto (A) nella quale il campione si estende fra l'asse di un dente e l'asse intermedio fra tale dente e un dente adiacente in corrispondenza del traferro (G);

l'indotto (A) comprende una pluralità di corpi (30, 31, 32; ...) di materiale ferromagnetico, magneticamente distinti, ciascuno dei quali accoppia almeno due campioni di indotto in modo tale da assicurarne una sostanziale equipotenzialità magneti-

ca;

i potenziali magnetici (τ_i) dei singoli campioni (1-12) di indotto (A) ed i suddetti valori di permeanza magnetica integrale (p_i) ad essi associati essendo determinati secondo criteri predefiniti.

2. Macchina elettrica secondo la rivendicazione 1, nella quale, assegnati ai campioni (1-12) di indotto rispettivi posti pari ed alternatamente dispari sulla superficie di affaccio al traferro (G) lungo detta direzione di spostamento relativo, per ciascun corpo (31, 32; ...; 101, 102) dell'indotto (A) avente potenziale magnetico (τ) sostanzialmente diverso da zero la somma delle permeanze magnetiche integrali (p_x) dei campioni di posto pari è sostanzialmente uguale alla somma delle permeanze magnetiche integrali (p_y) dei campioni di posto dispari.

3. Macchina elettrica secondo la rivendicazione 1 o 2, in cui l'indotto (A) comprende almeno un corpo ferromagnetico, definito "dispari" (30; 40; 51; ...; 101) che si affaccia al traferro (G) attraverso due insiemi non contigui di campioni, ciascuno dei quali comprende un numero dispari di campioni (1) contigui.

4. Macchina elettrica secondo una qualsiasi delle

rivendicazioni precedenti,

in cui l'induttore (B) è realizzato in modo tale per cui è atto a generare una distribuzione di forza magnetomotrice che viene vista dall'indotto (A) identicamente in tutte le posizioni relative che distano fra loro di un passo di cava (P), e

in cui, nelle $2N/n$ condizioni di allineamento possibili per ciascun campione (1-12) in un passo cava (P), i valori di tutti i parametri magnetici (L_o , L_m , L_{om} , Ψ_o , Ψ_m) della macchina elettrica calcolati nelle componenti secondo due assi distinti (o , m), ad esempio in quadratura fra loro, solidali con l'indotto, sono sostanzialmente uguali fra loro nelle $2N/n$ suddette condizioni di allineamento.

5. Macchina elettrica secondo la rivendicazione 4, in cui si ha che

$$L_{o,k} \cong \text{cost}$$

$$L_{m,k} \cong \text{cost}$$

$$L_{om,k} \cong \text{cost}$$

$$\Psi_{o,k} \cong \text{cost}$$

$$\Psi_{m,k} \cong \text{cost}$$

con $k=1, 2, \dots, 2N/n$

in cui

$L_{o,k}$ sono i valori dell'auto-induttanza misura-



ti, nelle $2N/n$ suddette condizioni di allineamento, secondo un primo asse (\underline{o}) corrispondente all'asse di separazione dei poli (N, S) dell'indotto (A);

$L_{m,k}$ sono i valori dell'auto-induttanza misurati, nelle $2N/n$ suddette condizioni di allineamento, lungo un secondo asse (m) in quadratura con l'asse di separazione (\underline{o}) dei poli (N, S) dell'indotto (A);

$L_{om,k}$ sono i valori dell'accoppiamento mutuo fra forze magnetomotrici e flussi secondo detti primo e secondo asse (\underline{o} , m) nelle $2N/n$ suddette condizioni di allineamento;

$\Psi_{o,k}$ sono i valori del flusso concatenato dagli avvolgimenti (W) dell'induttore (B) secondo detto primo asse (\underline{o}) nelle $2N/n$ suddette condizioni di allineamento; e

$\Psi_{m,k}$ sono i valori del flusso concatenato dagli avvolgimenti (W) dell'induttore (B) secondo detto secondo asse (m) nelle $2N/n$ suddette condizioni di allineamento.

6. Macchina elettrica secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui i denti dell'induttore (B) presentano in corrispondenza della superficie di affaccio al traferro (G) un'estensione

che, secondo detta direzione di spostamento relativo, presenta un'ampiezza prossima ad $3/4$ o ad $7/8$ del passo di dentatura.

7. Macchina elettrica secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 5, in cui l'indotto (A) comprende almeno due porzioni assiali di indotto che nella suddetta direzione di spostamento relativo sono sfalsate fra loro.

8. Macchina elettrica secondo la rivendicazione 7, in cui dette almeno due porzioni dell'indotto (A) presentano rispettive sezioni trasversali diverse fra loro.

9. Macchina elettrica secondo la rivendicazione 8, in cui le suddette almeno due porzioni dell'indotto (A) presentano rispettive lunghezze assiali diverse fra loro.

10. Macchina secondo una delle rivendicazioni da 7 a 9, in cui due porzioni dell'indotto (A) sono sfalsate fra loro di circa un quarto del passo di dentatura dell'induttore (B).

11. Macchina elettrica secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 7 a 10, in cui l'indotto (A) comprende quattro porzioni assiali di indotto, che in detta direzione di spostamento relativo sono sfalsate fra loro di circa $1/8$ del passo di dentatura.

12. Macchina elettrica secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, dimensionata per erogare nel funzionamento una coppia massima prefissata (T_M), ed in cui, l'indotto (A) è realizzato in modo tale per cui quando la macchina (M) opera erogando una coppia prossima a detta coppia massima (T_M), in ciascuna delle $2N/n$ condizioni di allineamento possibili per ciascun campione in un passo di cava, si ha che la distribuzione di induzione nelle strutture ferromagnetiche dentali (20) dell'induttore (B) presenta valori sostanzialmente prossimi, e preferibilmente inferiori, al valore di induzione di saturazione delle strutture ferromagnetiche dentali (20) dell'induttore (B) su almeno metà del passo polare dell'indotto (A), e preferibilmente non oltre $3/4$ del passo polare dell'indotto (A).

13. Macchina elettrica sincrona secondo la rivendicazione 12, in cui in ciascuna di dette condizioni di allineamento si ha che detta distribuzione di induzione è sostanzialmente in quadratura con la distribuzione del potenziale magnetico generato dall'induttore (B) in corrispondenza delle suddette strutture ferromagnetiche dell'induttore (B).

14. Macchina elettrica sincrona secondo la rivendicazione 12 o 13, in cui in ciascuna di dette con-

dizioni di allineamento si ha che detta distribuzione di induzione presenta un andamento sostanzialmente crescente monotonicamente per un'estensione pari a circa un passo polare di indotto (A), e sostanzialmente decrescente monotonicamente per il passo polare successivo o precedente.

15. Macchina elettrica secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la distribuzione dei valori (p_i) di permeanza magnetica al traferro (G) associati ai campioni di indotto presenta un minimo locale in un campo che si estende per un'ampiezza pari a 3 campioni intorno all'asse (\underline{o}) oppure a ciascun asse di separazione dei poli di indotto essendo tale asse o ciascun asse di separazione dei poli coincidente o prossimo, entro più o meno un campione, all'asse lungo il quale si trova il valore massimo di autoinduttanza presente ai terminali dell'avvolgimento di induttore.

16. Macchina elettrica sincrona secondo la rivendicazione 15 in cui i valori (p_i) della permeanza magnetica al traferro (G) sono crescenti lungo il traferro (G) in entrambe le direzioni a partire dal suddetto minimo locale; tale distribuzione di permeanza magnetica (p_i) presentando il valore massimo assoluto in corrispondenza di campioni di indotto

JACOBACCI & PARTNERS SpA



compresi fra detto o ciascun asse di separazione dei poli di indotto (o) e gli adiacenti assi (m) che sono in quadratura con detti assi (o) di separazione dei poli di indotto.

17 Macchina elettrica secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui ciascun asse (m) dei poli, in quadratura con ciascun asse (o) di separazione dei poli è un asse di simmetria geometrica e magnetica.

18 Macchina elettrica secondo la rivendicazione 17, in cui ciascun asse (m) dei poli e ciascun asse (o) di separazione dei poli, sono assi di simmetria geometrica e magnetica.

19 Macchina elettrica secondo la rivendicazione 17, in cui ciascun asse (o) non e' un asse di simmetria geometrica e magnetica.

20 Macchina elettrica secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 16, in cui ciascun asse (m) dei poli e ciascun asse (o) di separazione dei poli non sono assi di simmetria geometrica e magnetica ma l'indotto è geometricamente e magneticamente simmetrico rispetto al proprio asse.

21. Macchina elettrica secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui ciascuna struttura ferromagnetica di induttore presenta una o al

più due pseudocave.

22 Macchina elettrica secondo la rivendicazione

21, in cui $n=3$ e $N=9$

23 Macchina elettrica secondo la rivendicazione

21, in cui $n=4$ e $N=12$

24 Macchina elettrica secondo la rivendicazione

21, in cui $n=6$ e $N=12$

25 Macchina elettrica secondo la rivendicazione

21, in cui $n=6$ e $N=18$

24 Macchina elettrica secondo la rivendicazione

21, in cui $n=12$ e $N=24$.

PER INCARICO
Giuseppe Quinterno
GIUSEPPE QUINTERNO
(Iscr. No. 257BA)

JACOBACCI & PARTNERS s.p.a.

[Signature]
C.C.I.A.A.
Torino

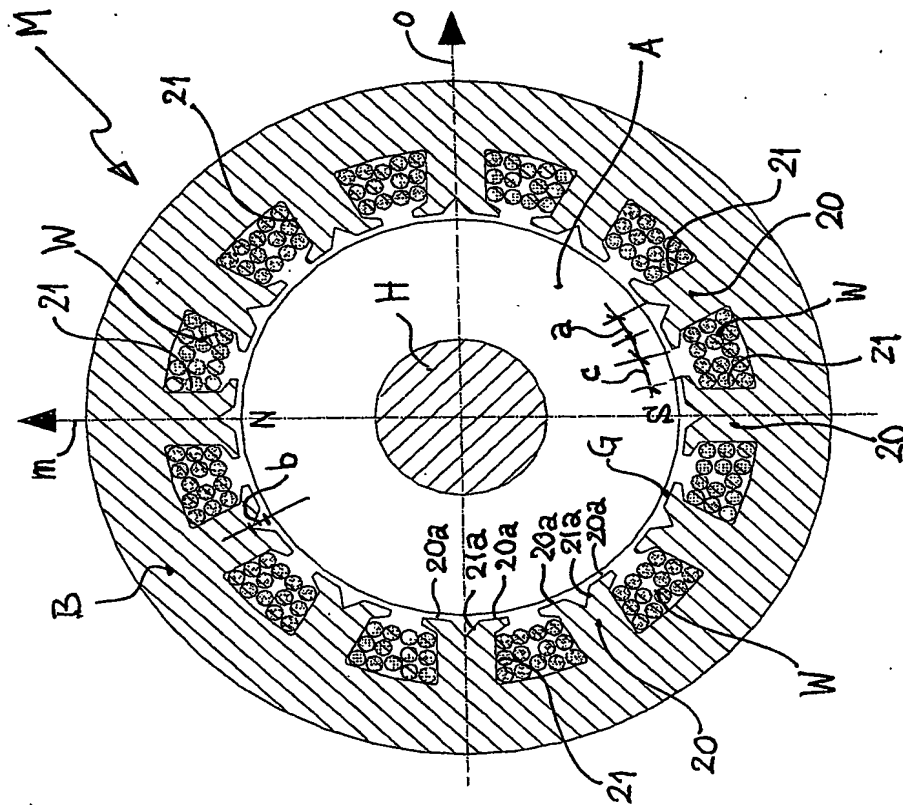


Fig 1a

C.C.I.A.A.
Torino

GIUSEPPE QUINTERNO
(Iscri. No. 257BM)

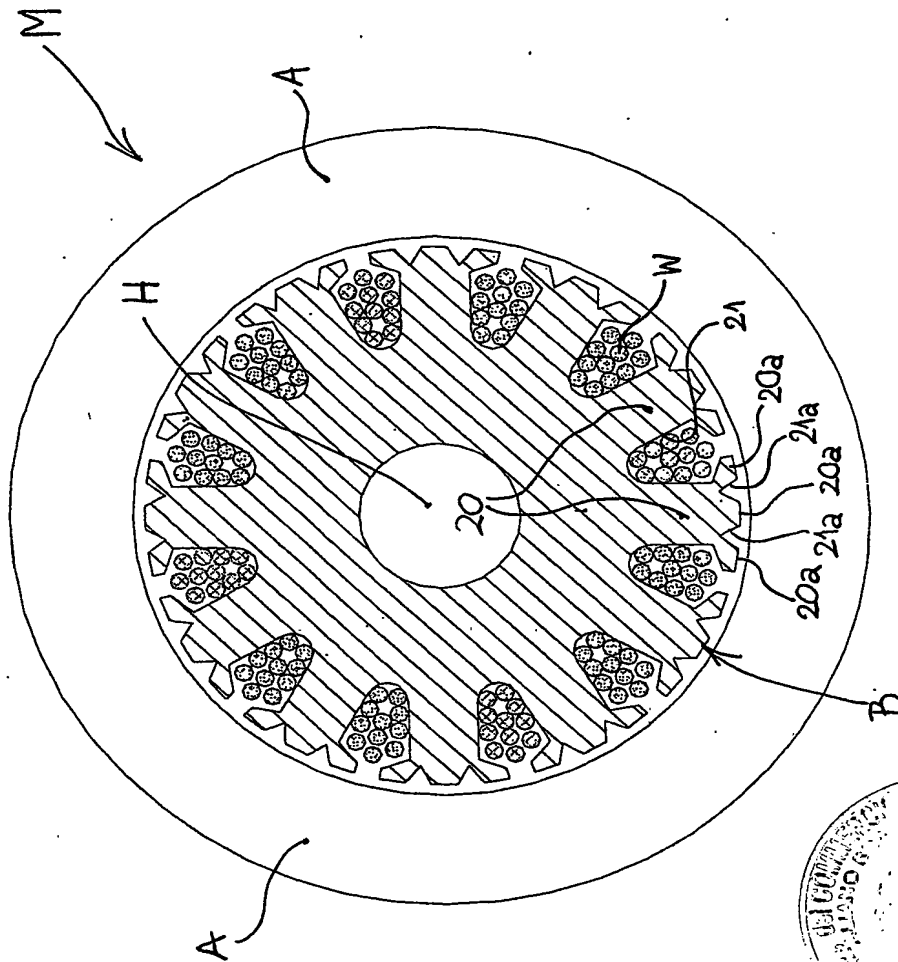


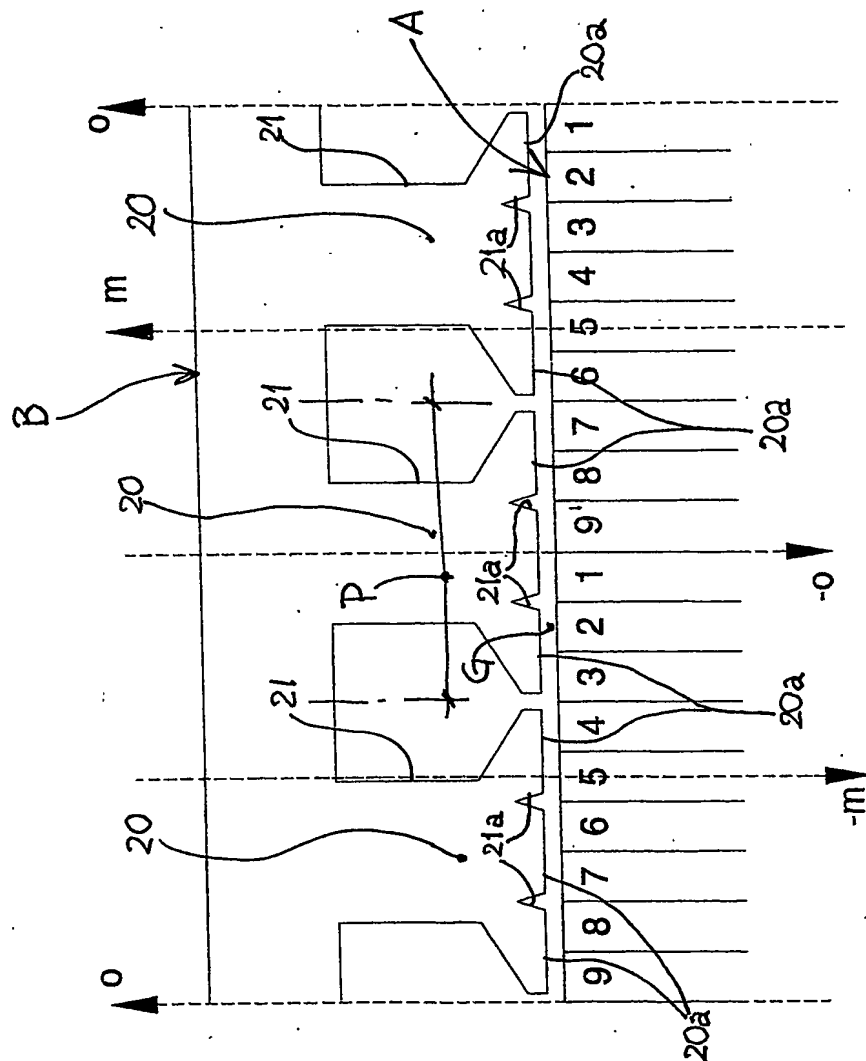
Fig 1b



Giuseppe Quinterno
GIUSEPPE QUINTERNO
(Iscri. No. 257BM)

2002 A 000757

Fig 2a

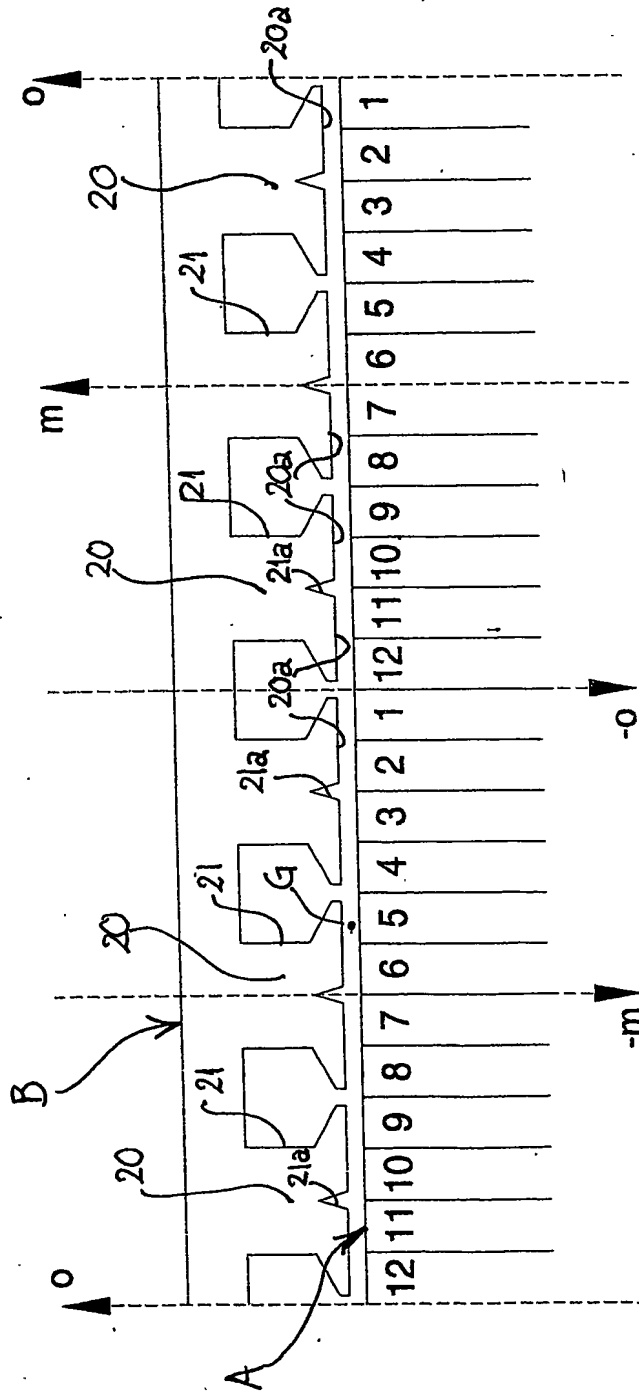


C.C.I.A.A.
Torino

GIUSEPPE QUINTERNO
(Iscr. No. 257BM)

10 2002 A000757

Fig 2b



C.C.I.A.A.
Torino

Giuseppe Quinterno
GIUSEPPE QUINTERNO
(Iscr. No. 257BM)

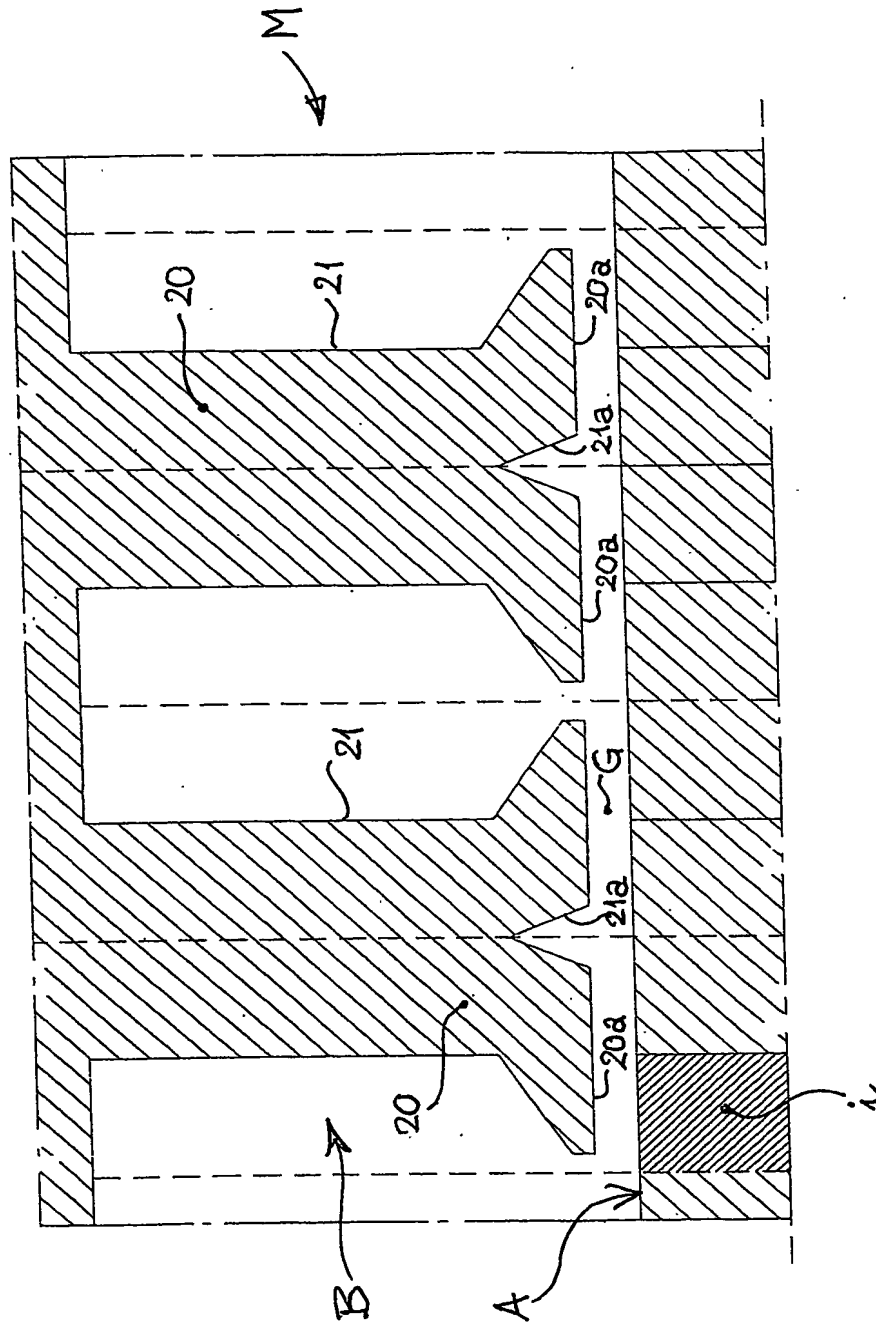
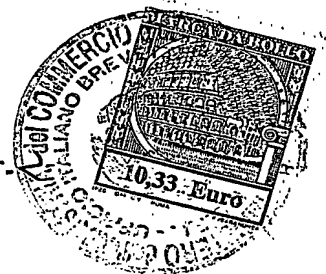
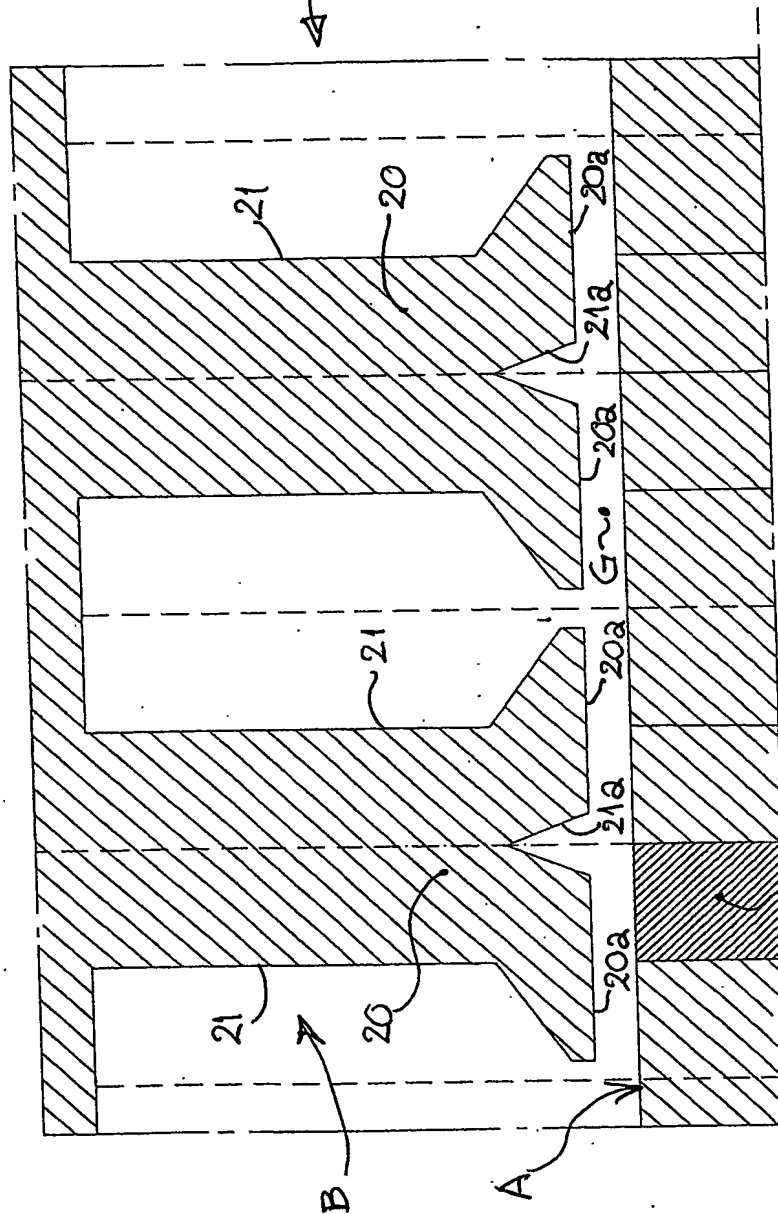


Fig 3a



Giuseppe Quinterno
GIUSEPPE QUINTERNO
(Iscri. No. 257BM)



Giuseppe Quinterno
GIUSEPPE QUINTERNO
(Iscri. No. 257BM)

Fig 3b

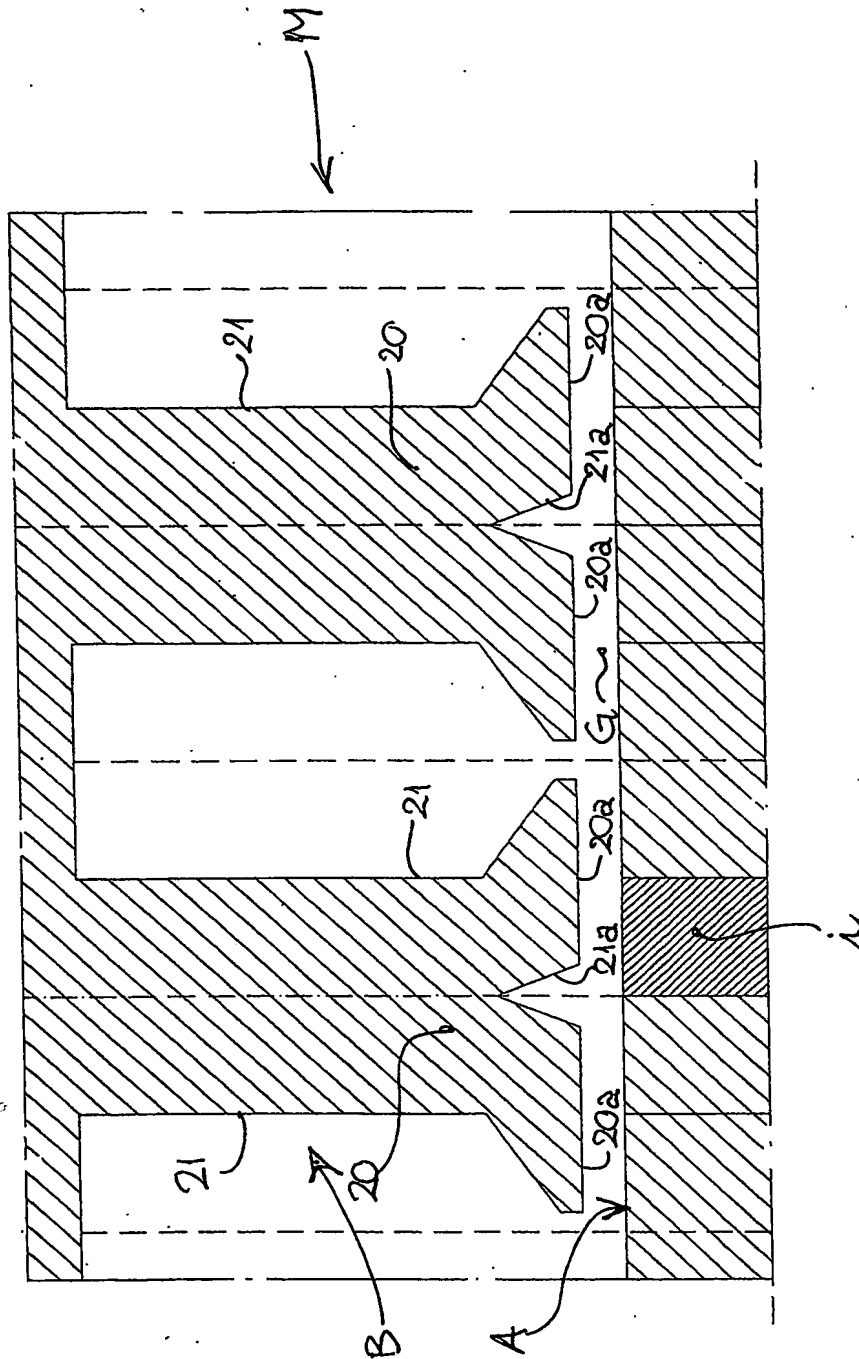


Fig 3c



Giuseppe Quinterno
GIUSEPPE QUINTERNO
(Isr. No. 257BM)

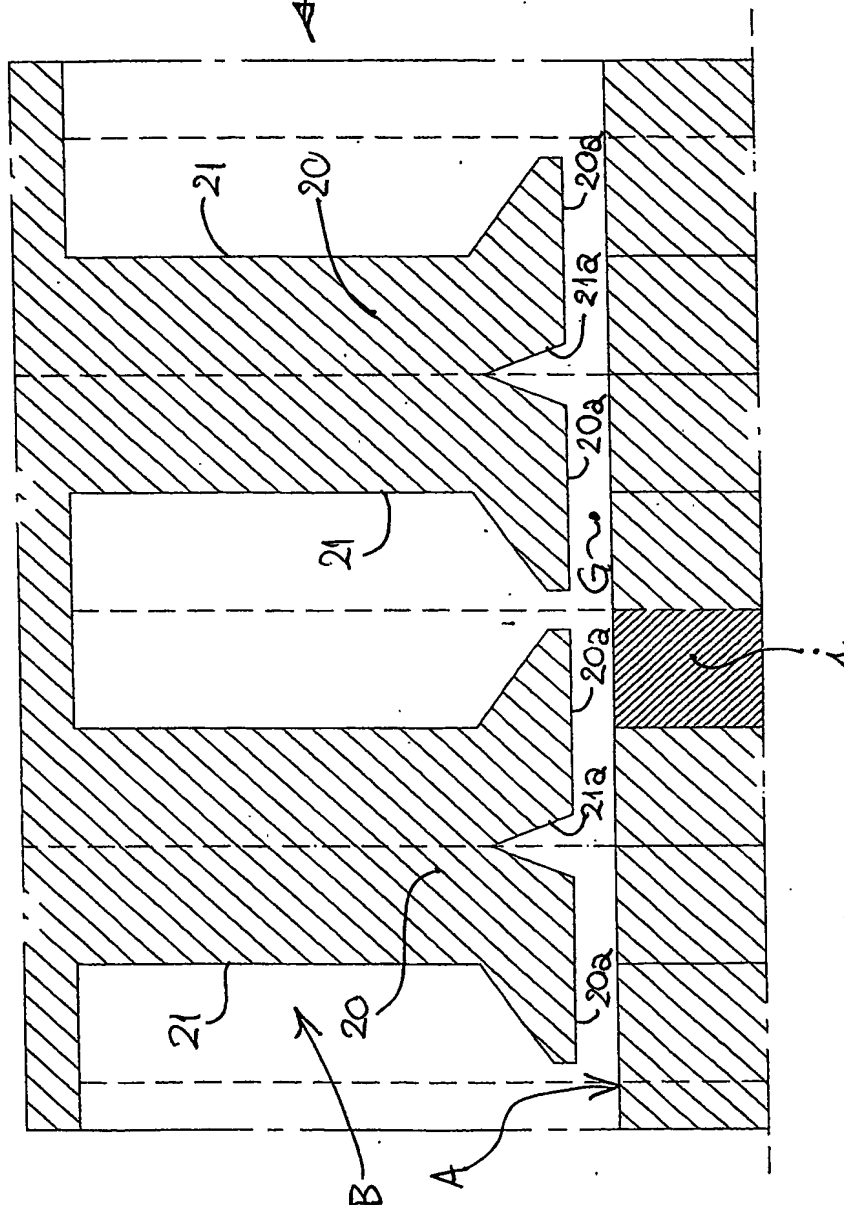



Fig 3d

C.C.I.A.A.
Torino


GIUSEPPE QUINTERNO
(Iscr. No. 257BM)

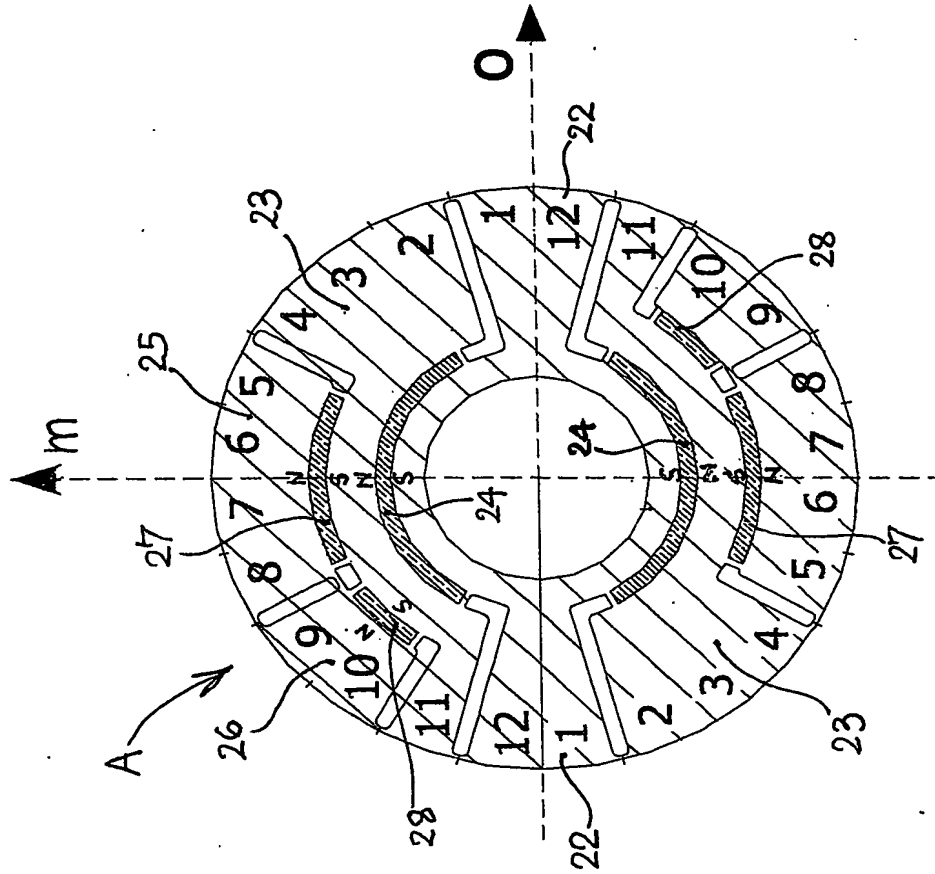


Fig 4

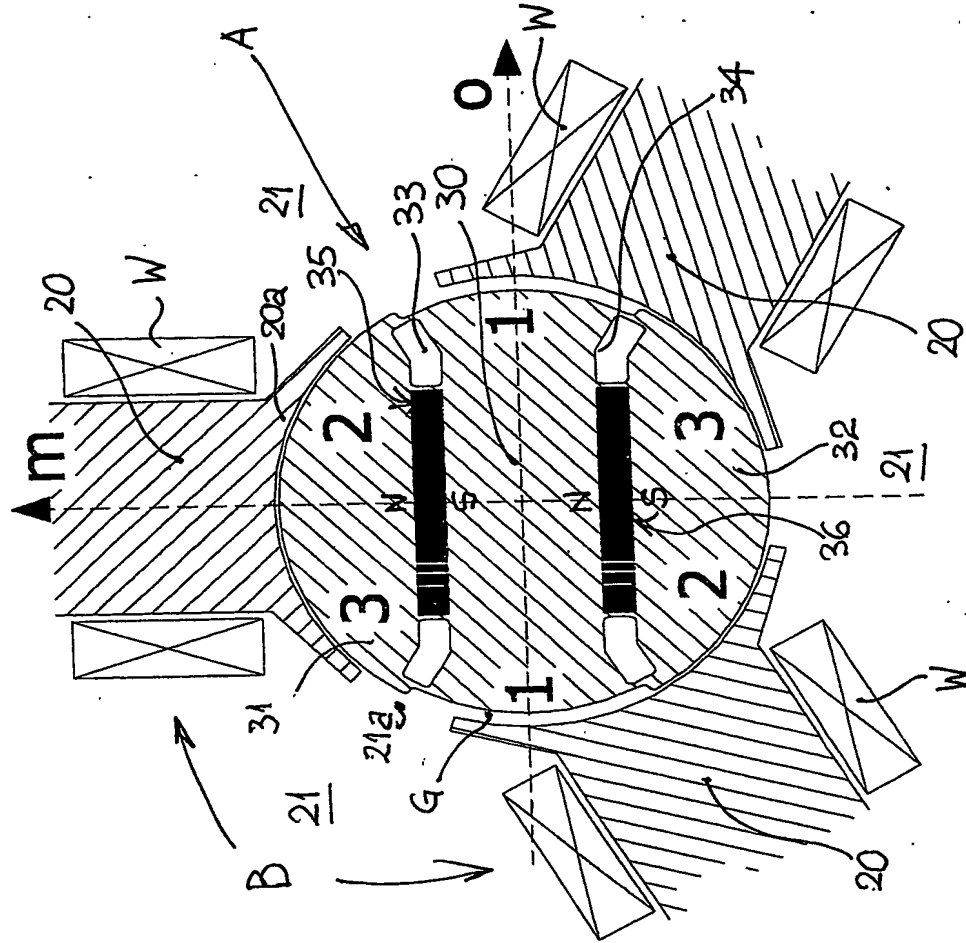
C.C.I.A.A.
Torino

Giuseppe Quinterno
GIUSEPPE QUINTERNO
(Iscr. No. 257BM)



Giuseppe Quinterno
GIUSEPPE QUINTERNO
(5cr. No. 2575M)

Fig 6a
($m=N=3$)



C.C.A.A.
Torino

Giuseppe Quinterno
GIUSEPPE QUINTERNO
(Iscr. No. 257BM)

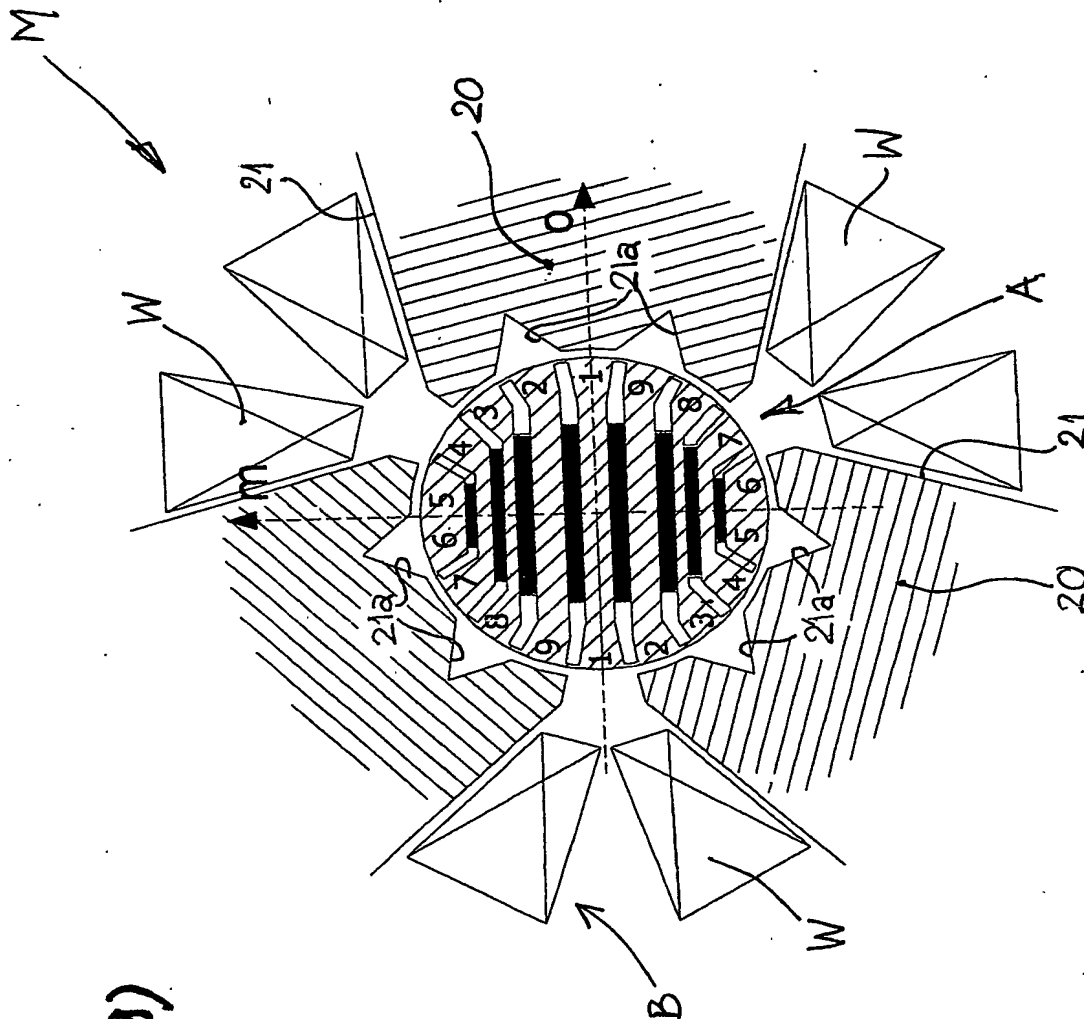


Fig 6b
($m=3, N=9$)

C.C.I.A.A.
Torino

Giuseppe Quinterno
GIUSEPPE QUINTERNO
(Iscr. No. 257BM)

2002 A 000757

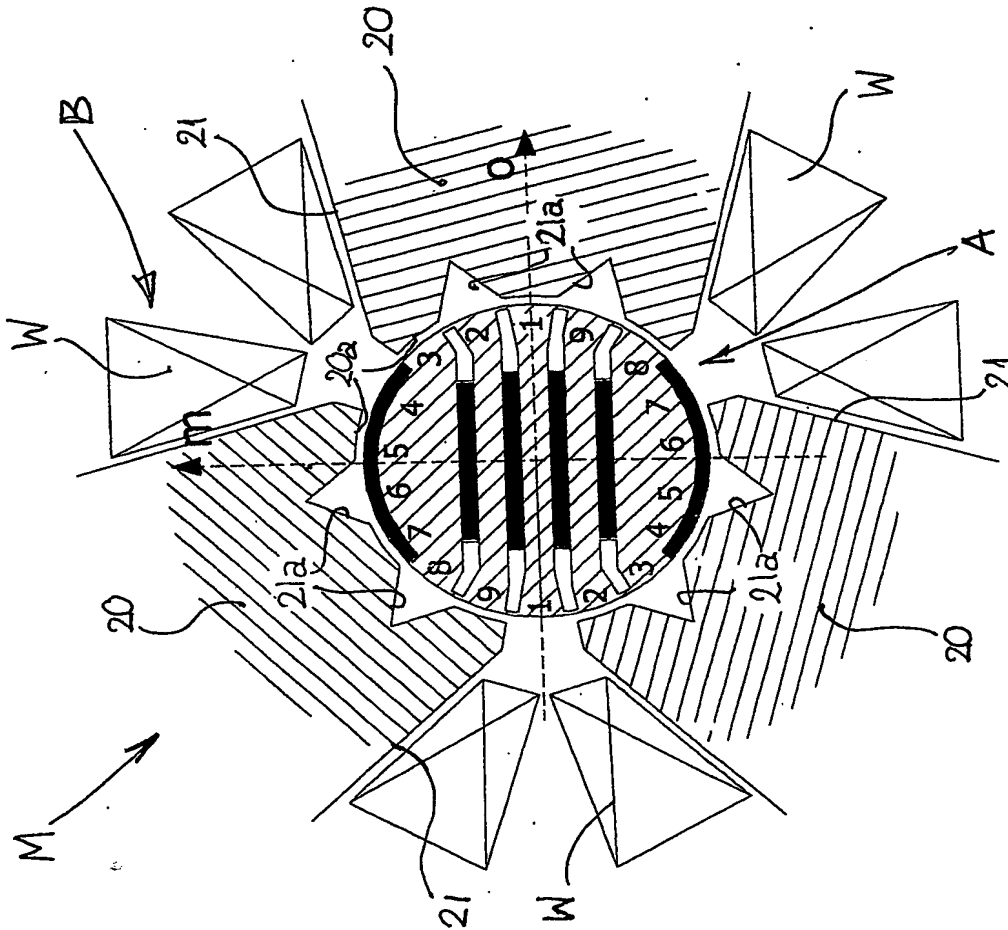


Fig 6c
($m=3, N=9$)

C.C.I.A.A.
Torino

Giuseppe Quinterno
GIUSEPPE QUINTERNO
(Isr. No. 257BM)

2002 A 000 757

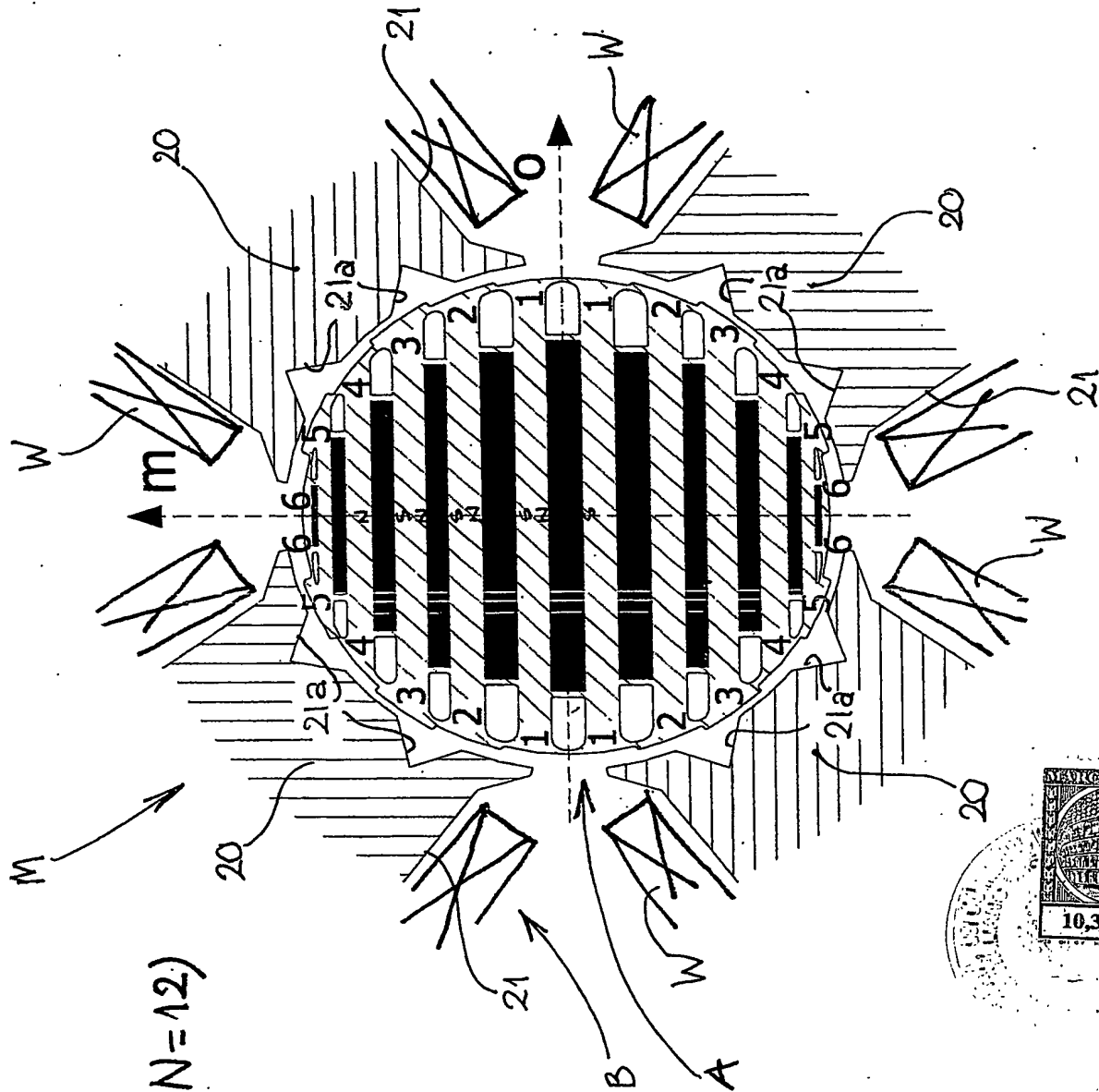


Fig 7

($n=4, N=12$)



Giuseppe Quinterno
 GIUSEPPE QUINTERNO
 (Iscri. No. 257BM)

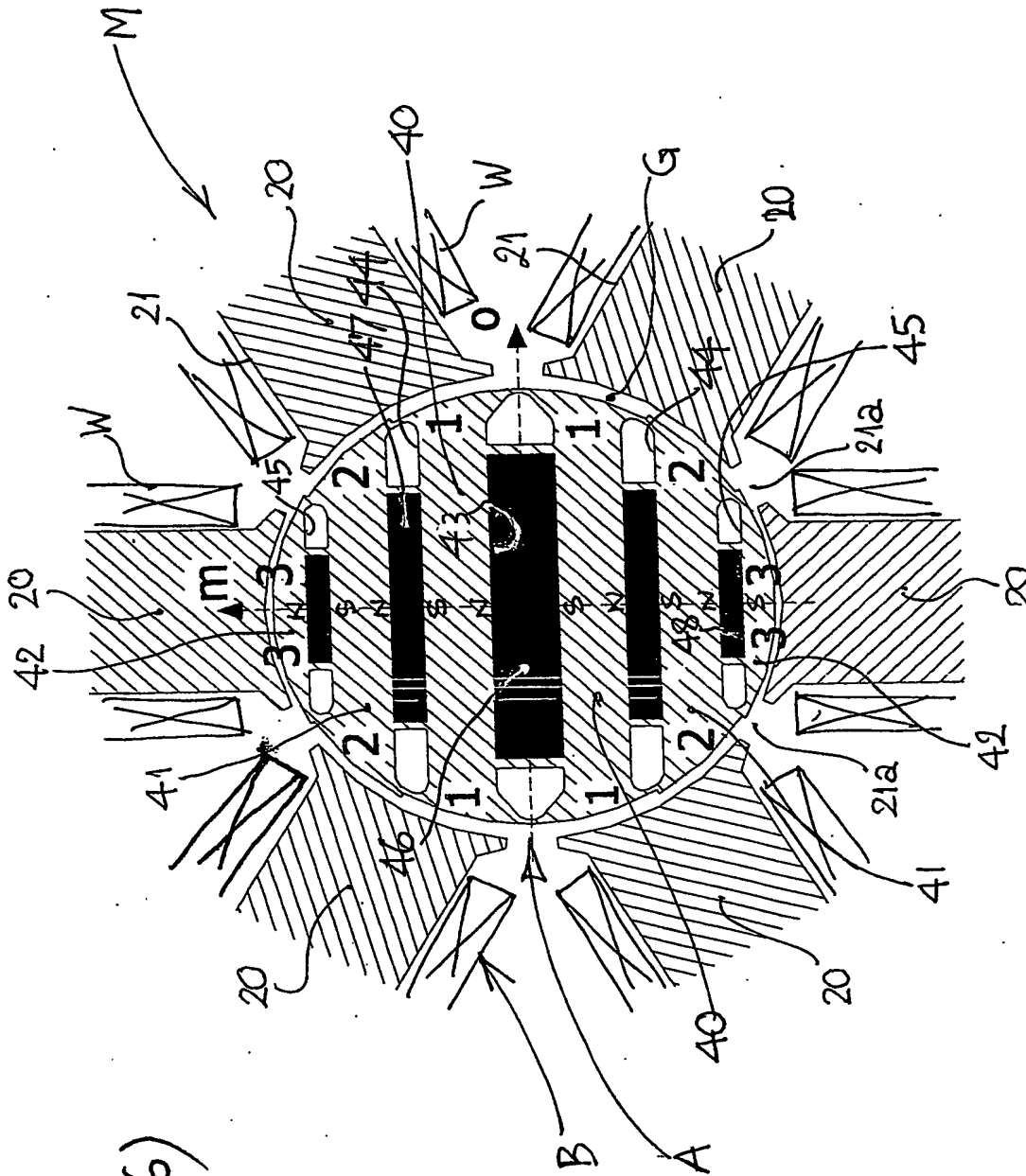


Fig 8a
($m=N=6$)

C.C.I.A.A.
Torino

Giuseppe Quinterno
GIUSEPPE QUINTERNO
(Iscr. No. 257BM)

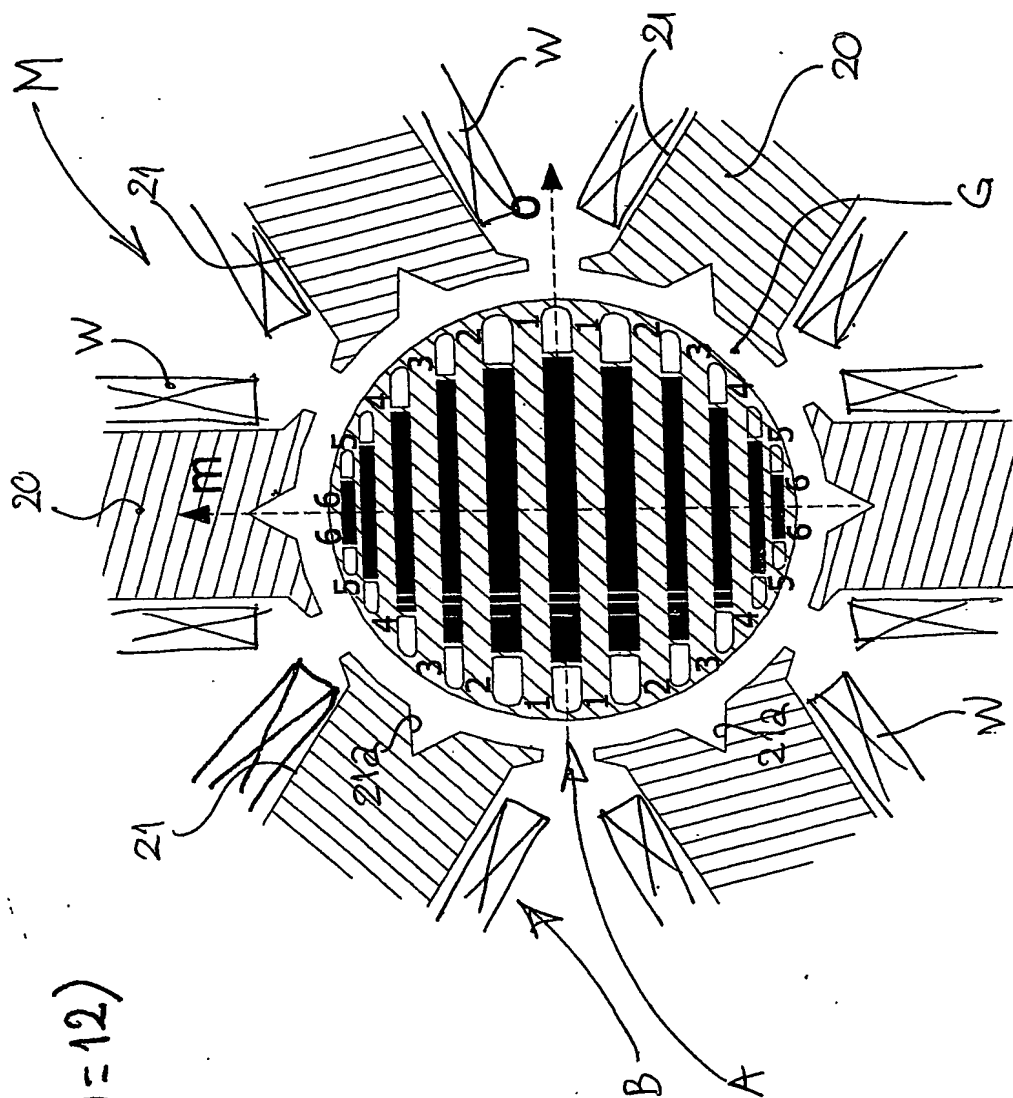
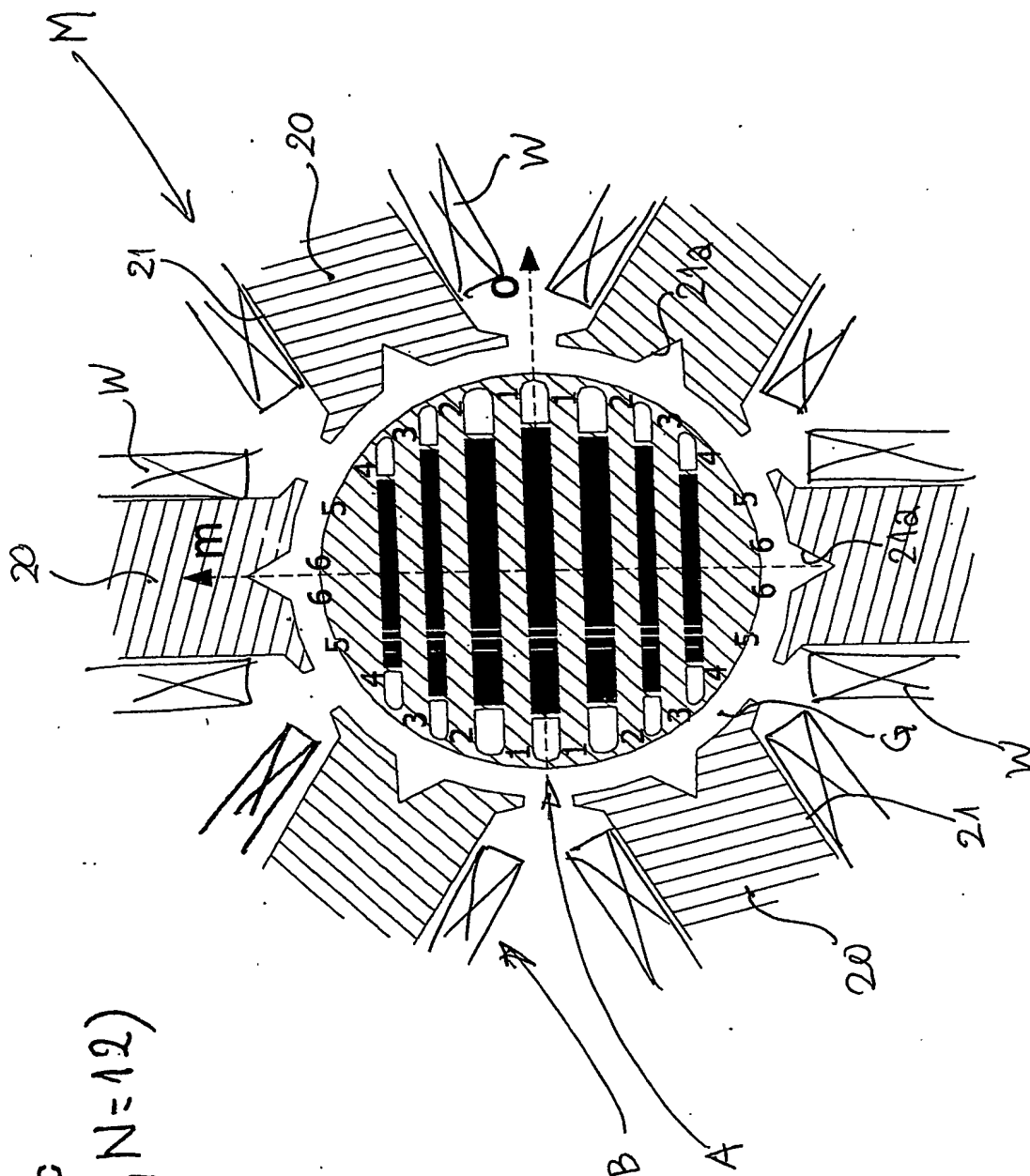


Fig 8b
($m=6, N=12$)

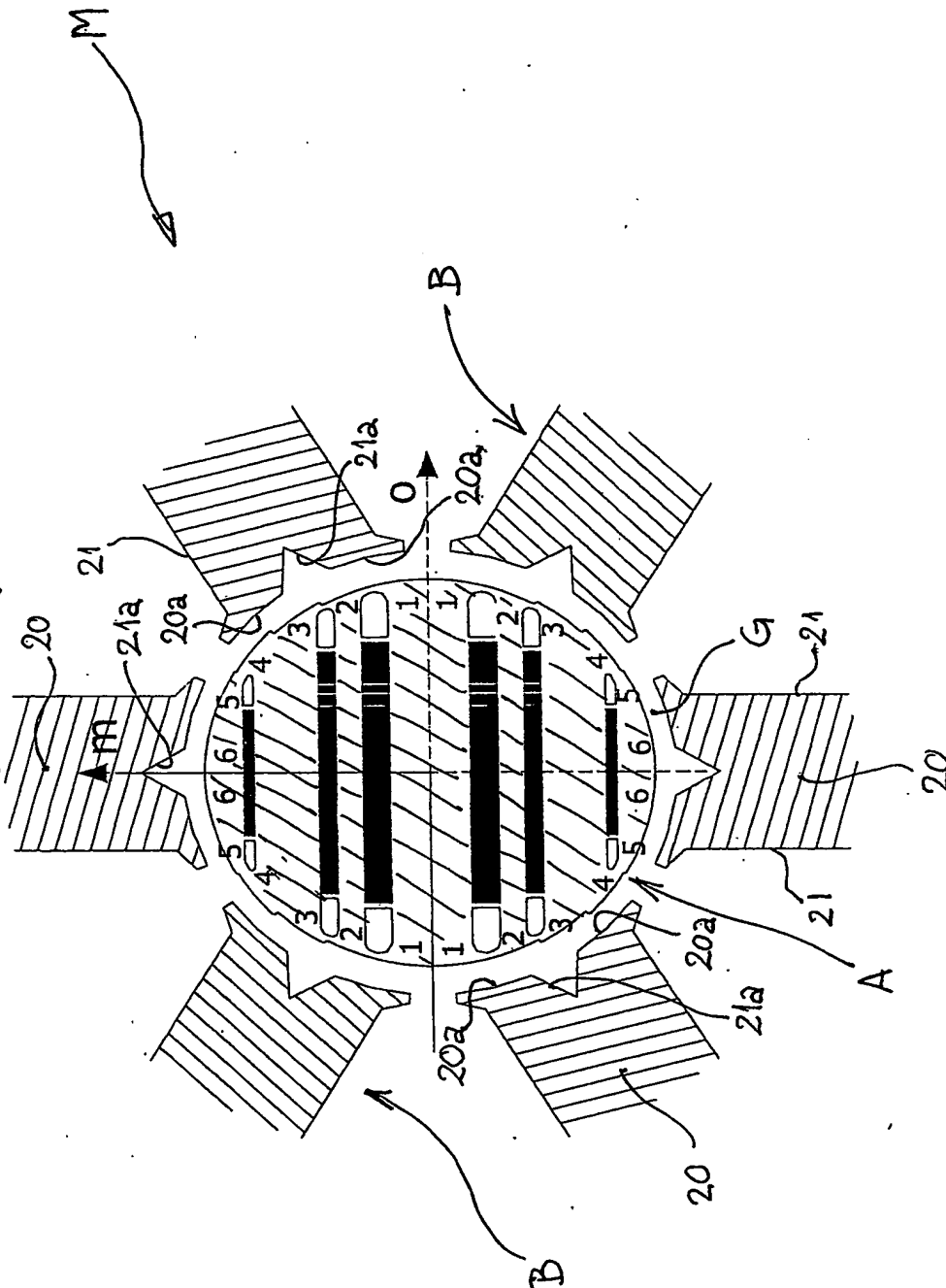


Giuseppe Quinterno
GIUSEPPE QUINTERNO
(Iscri. No. 2578M)



Giuseppe Quinterno
GIUSEPPE QUINTERNO
(Iscri. No. 257BM)

Fig 8d ($m=6, N=12$)



Giuseppe Quinterno
GIUSEPPE QUINTERNO
(Iscr. No. 257BM)

Fig 8e

($n=6, N=18$)

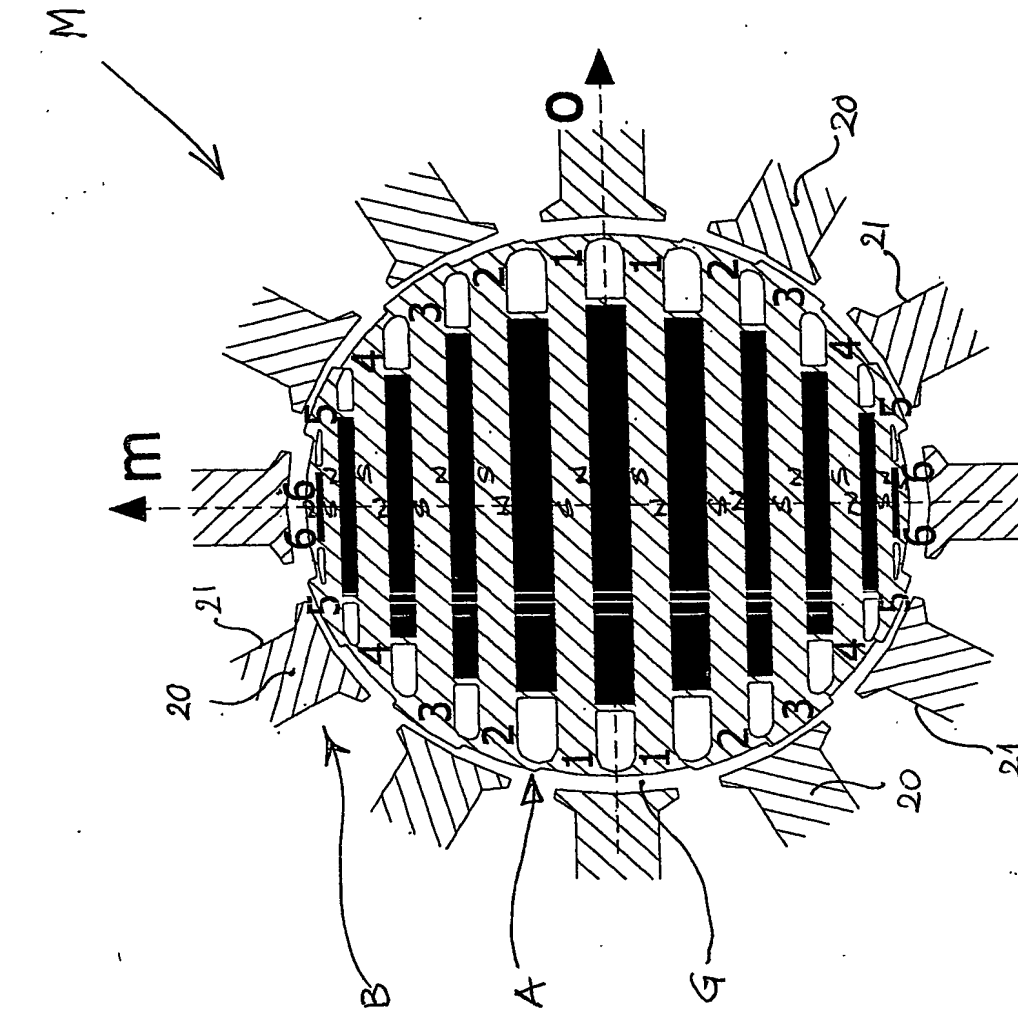


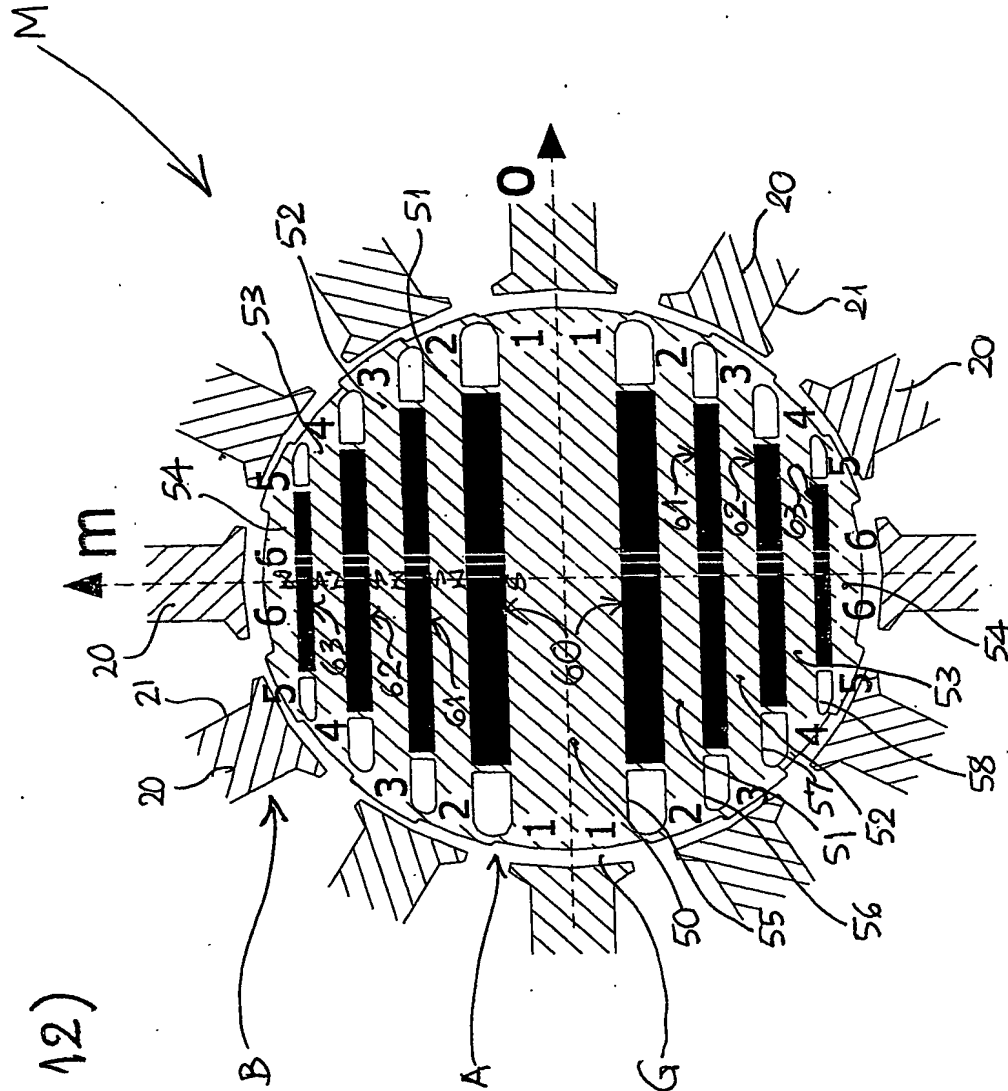
Fig 9a
($m = N = 12$)

C.C.I.A.A.
Torino

Quinterno
GIUSEPPE QUINTERNO
(Isr. No. 257BM)

Fig 9b

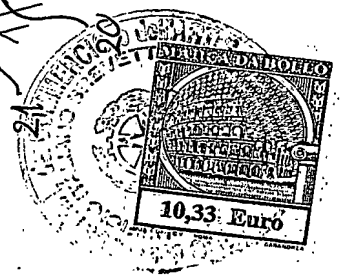
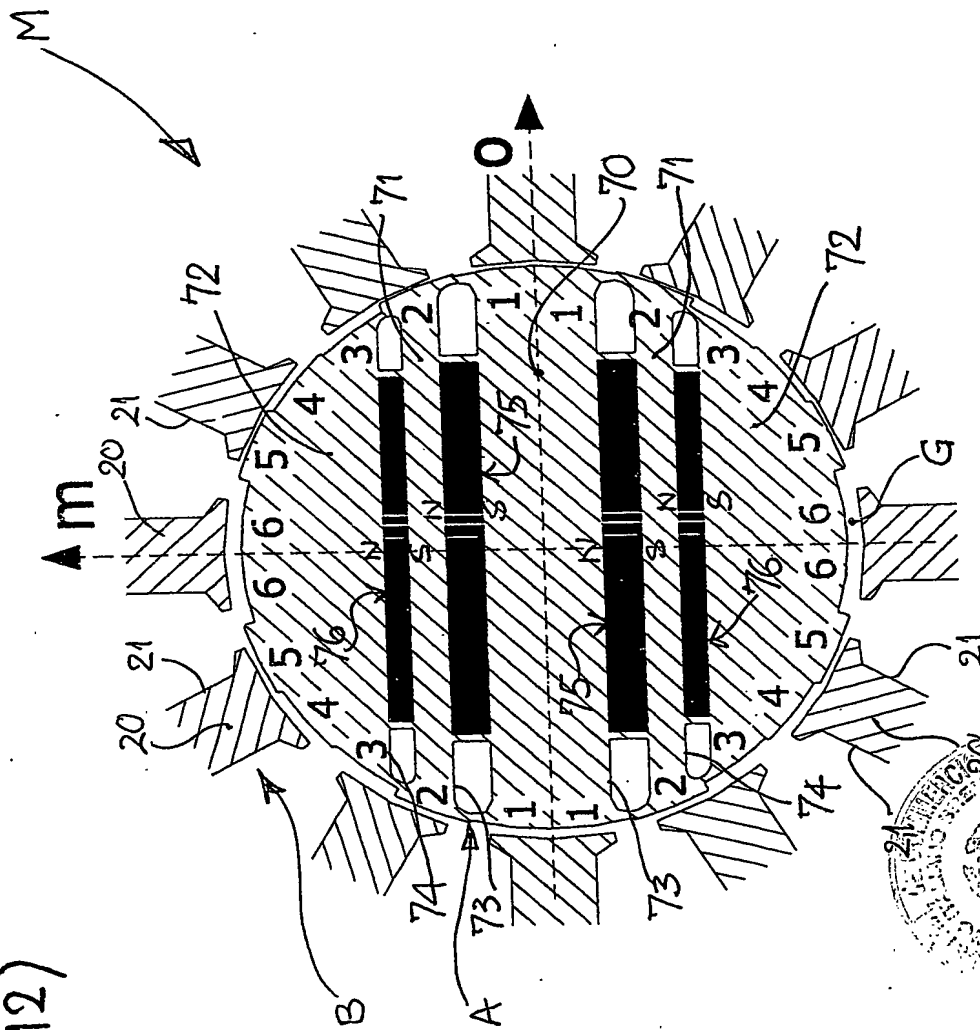
($m = N = 12$)



C.C.I.A.A.
Torino

Giuseppe Quinterno
GIUSEPPE QUINTERNO
(Iscri. No. 257BM)

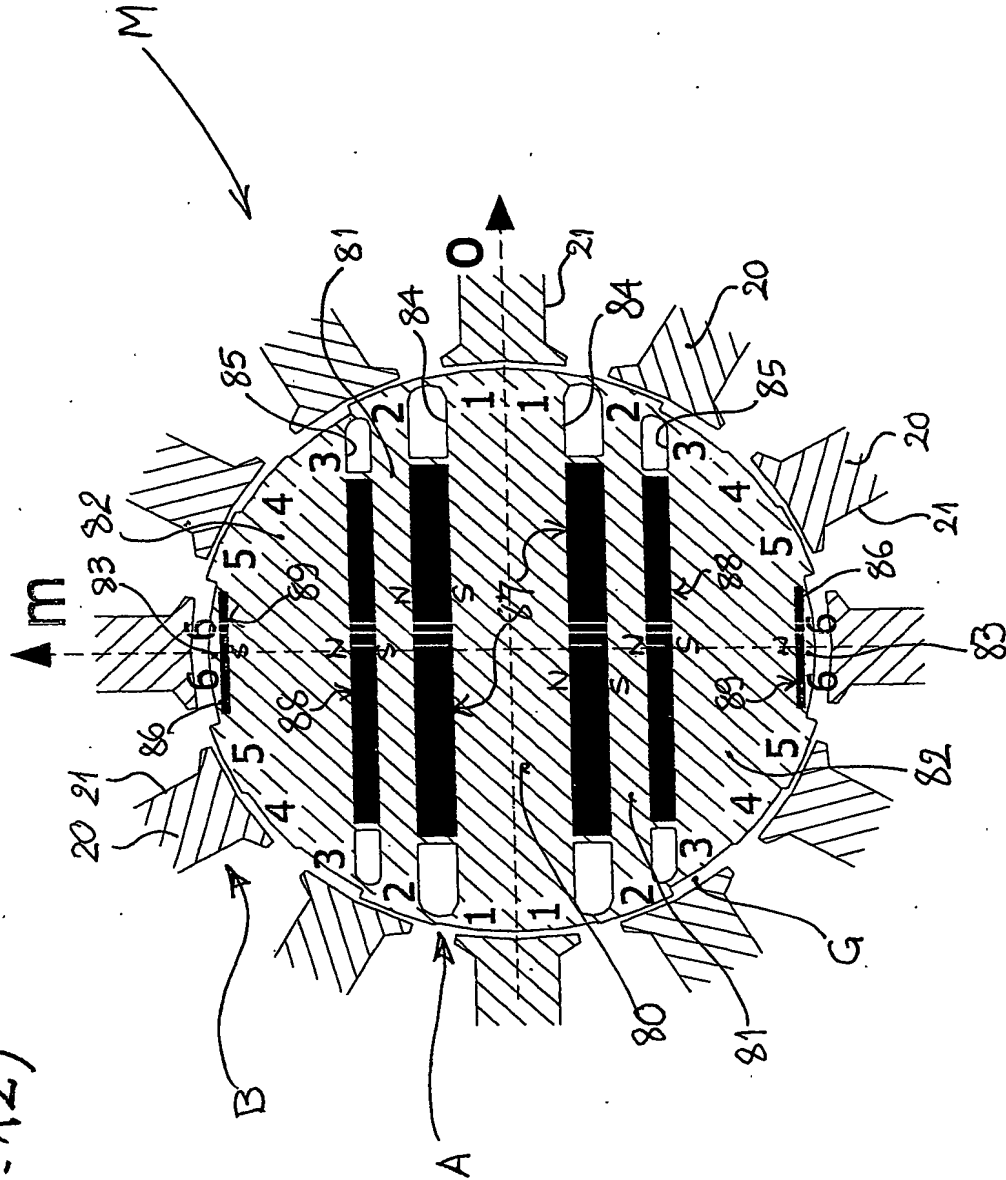
Fig 9c
($M=N=12$)



C.C.I.A.A.
Torino

Giuseppe Quinterno
GIUSEPPE QUINTERNO
(Isr. No. 257BM)

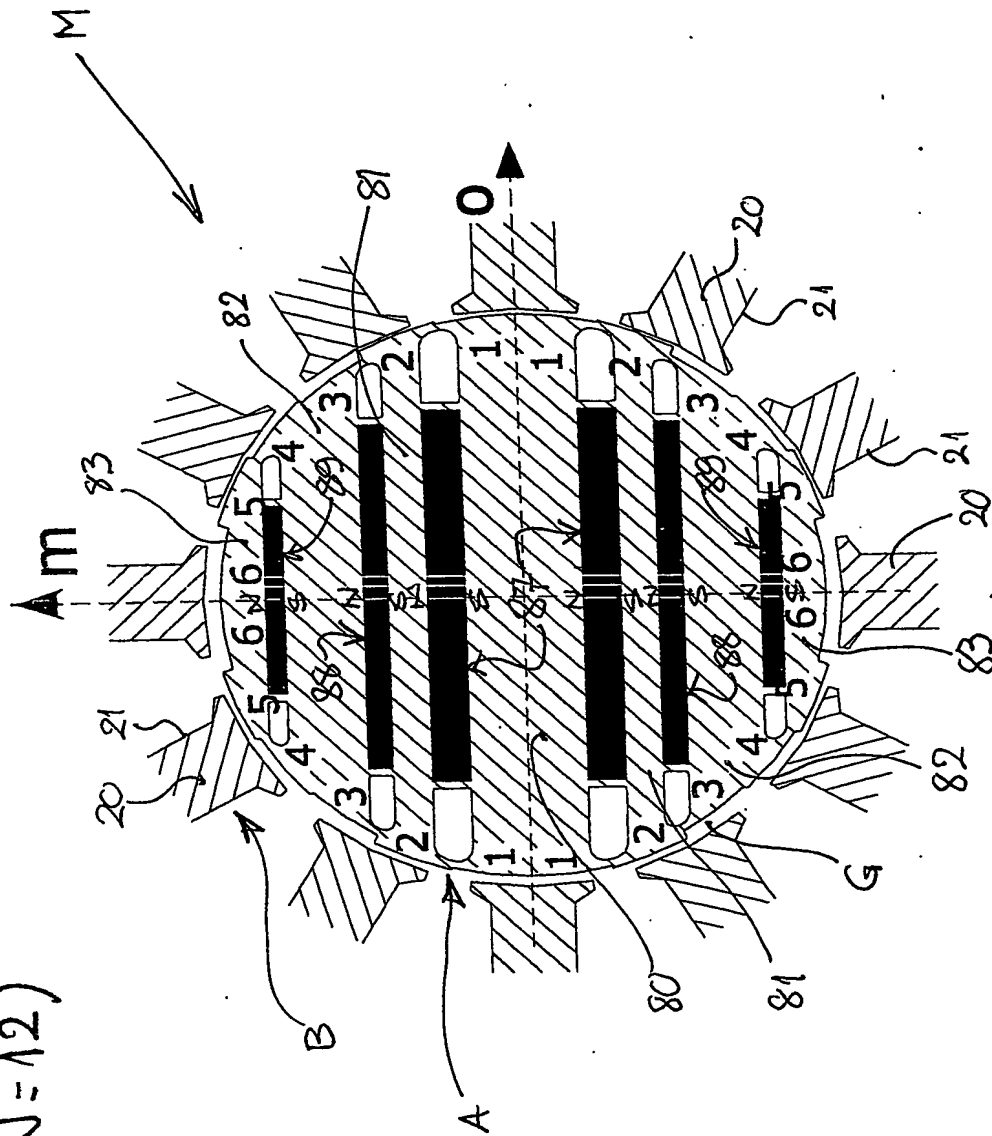
Fig 9d
($m = N = 12$)



CCIAA
Forlino

Giuseppe Quinterno
GIUSEPPE QUINTERNO
(Iscri. No. 257BM)

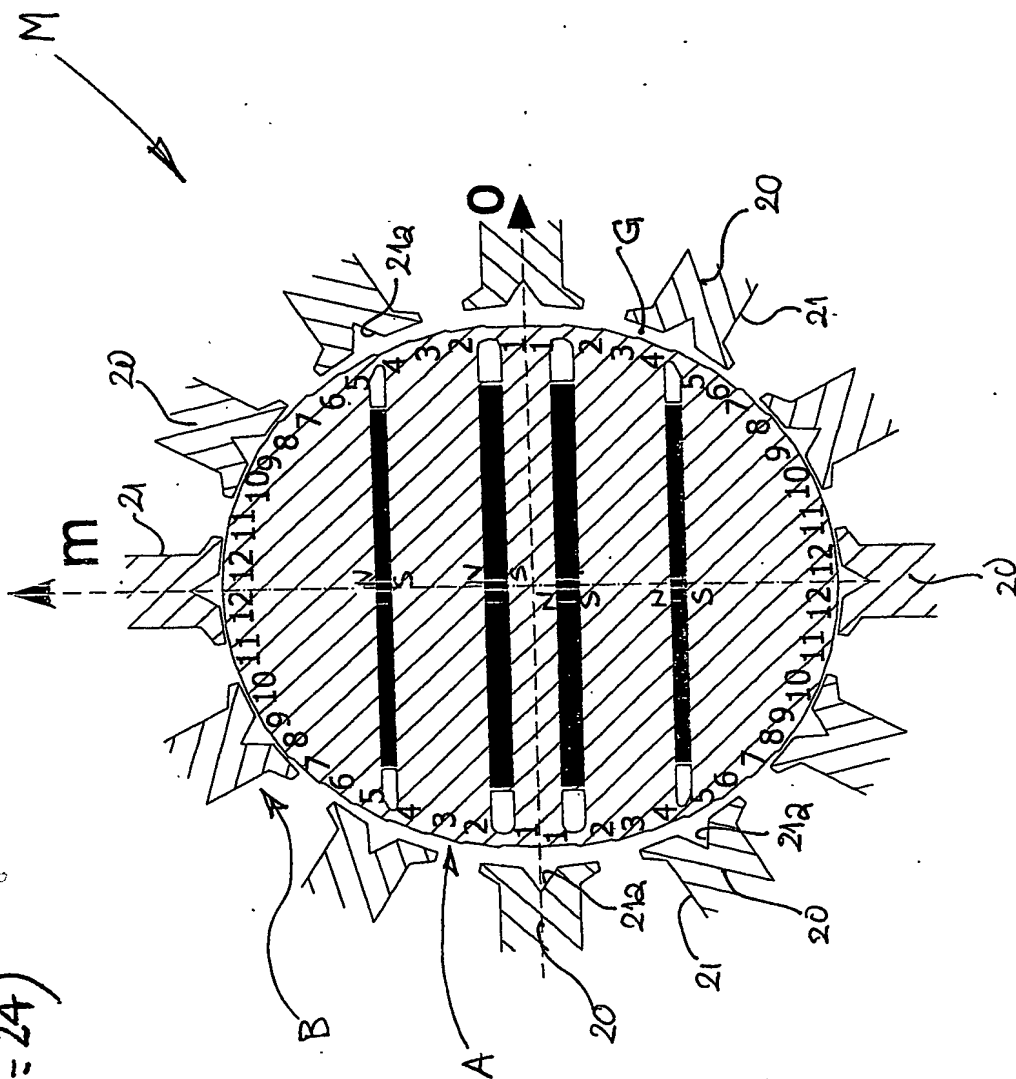
Fig 9e
($m = N = 12$)



Giuseppe Quinterno
GIUSEPPE QUINTERNO
(Isr. No. 257BM)

Fig 9f

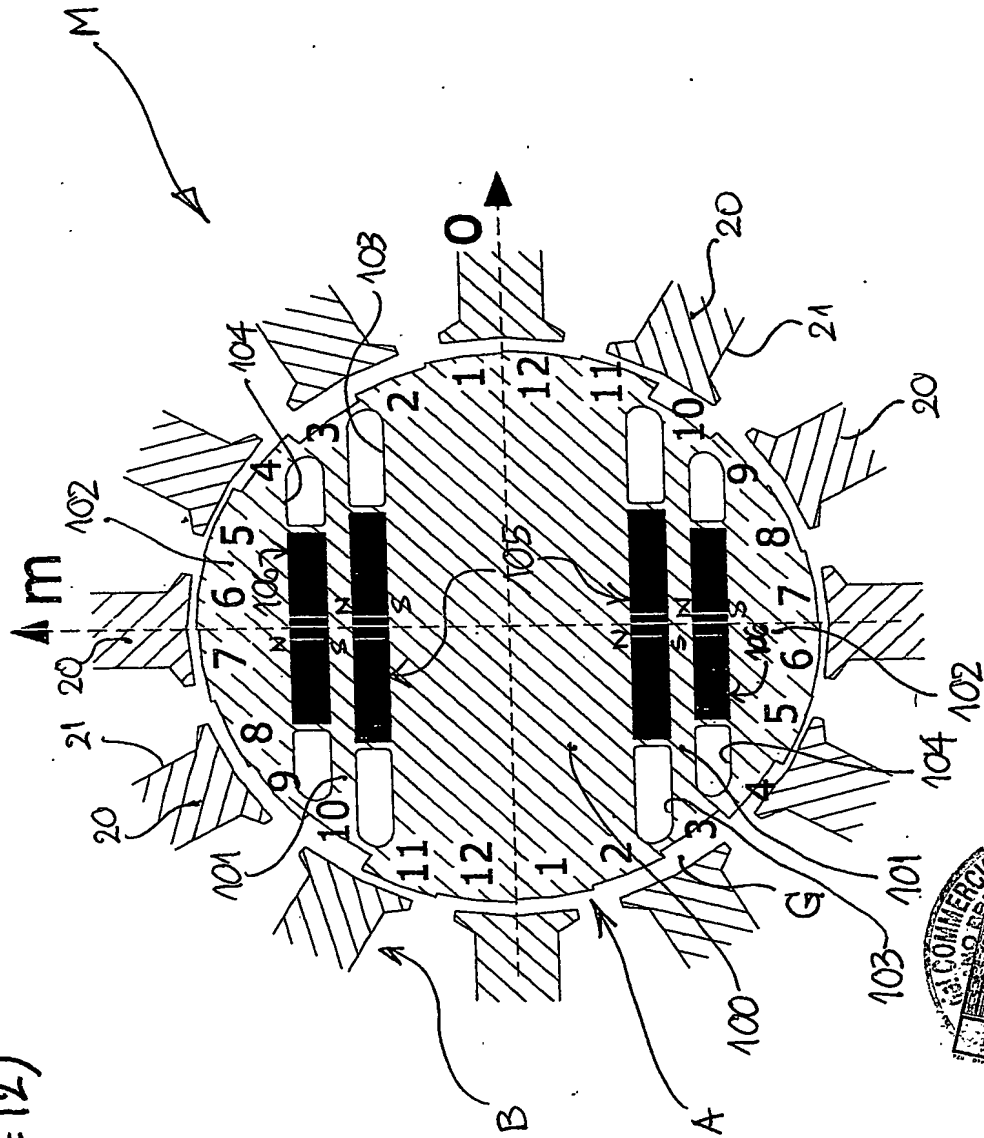
($m=12, N=24$)



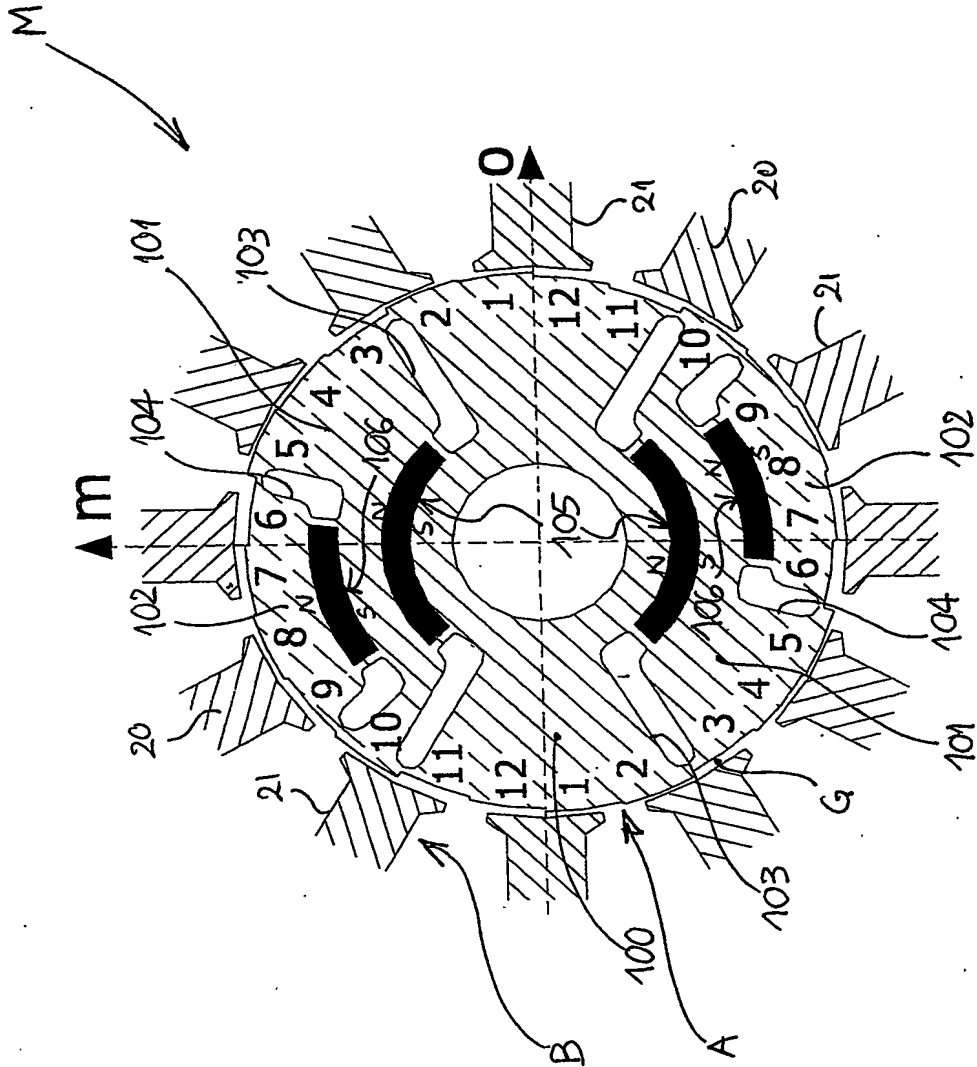
Giuseppe Quinterno
GIUSEPPE QUINTERNO
(Isr. No. 257BM)

Fig 10a

($m = N = 12$)



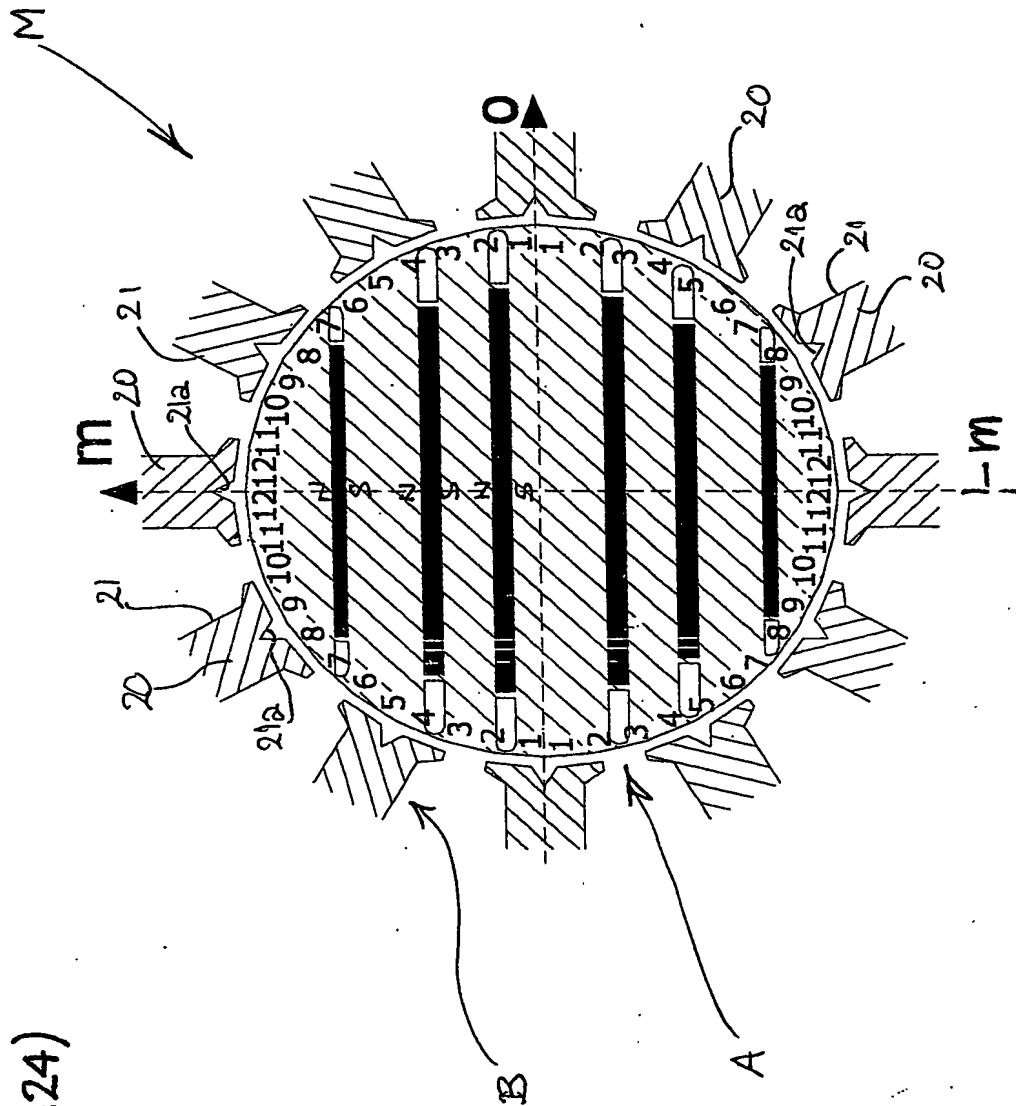
Giuseppe Quinterno
 GIUSEPPE QUINTERNO
 (Isr. No. 257BM)


$$(m=N=12)$$

C.C.I.A.A.
Torino

GIUSEPPE QUINTERNO
(Iscr. No. 257BM)

Fig 11
($m=12, N=24$)



C.C.I.A.A.
Torino

Giuseppe Quinterno
GIUSEPPE QUINTERNO
(Iscr. No. 257BM)

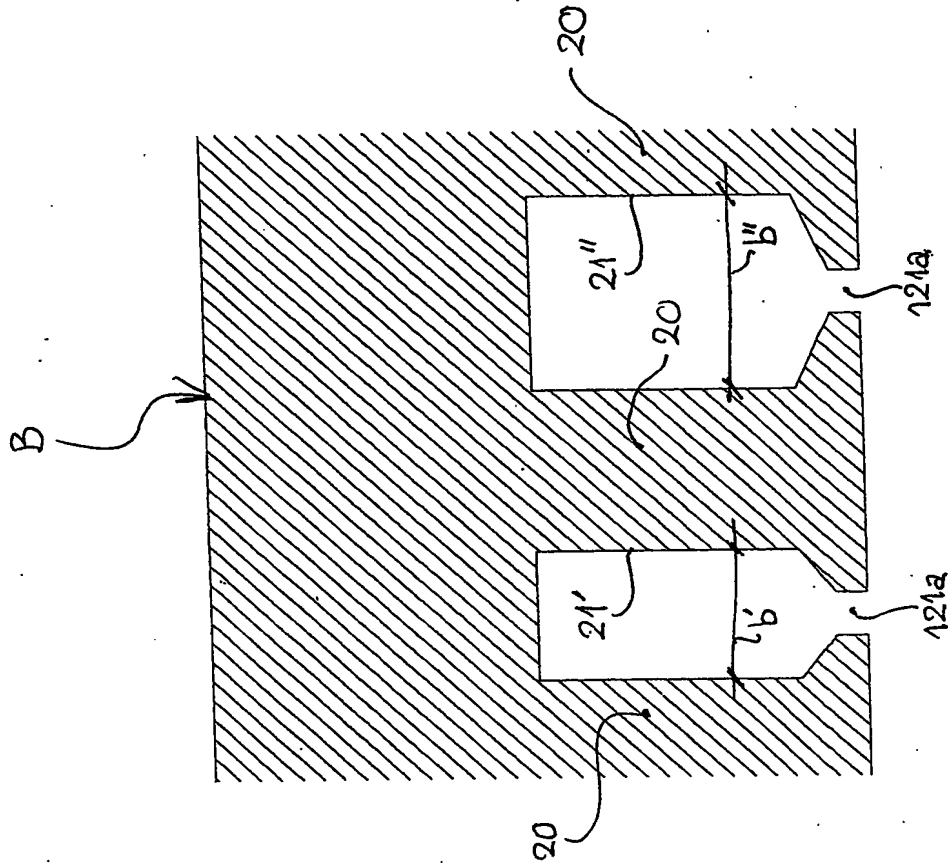


Fig 12

G.C.I.A.A.
Torino

Giuseppe Quinterno
GIUSEPPE QUINTERNO
(Iscr. No. 257BM)

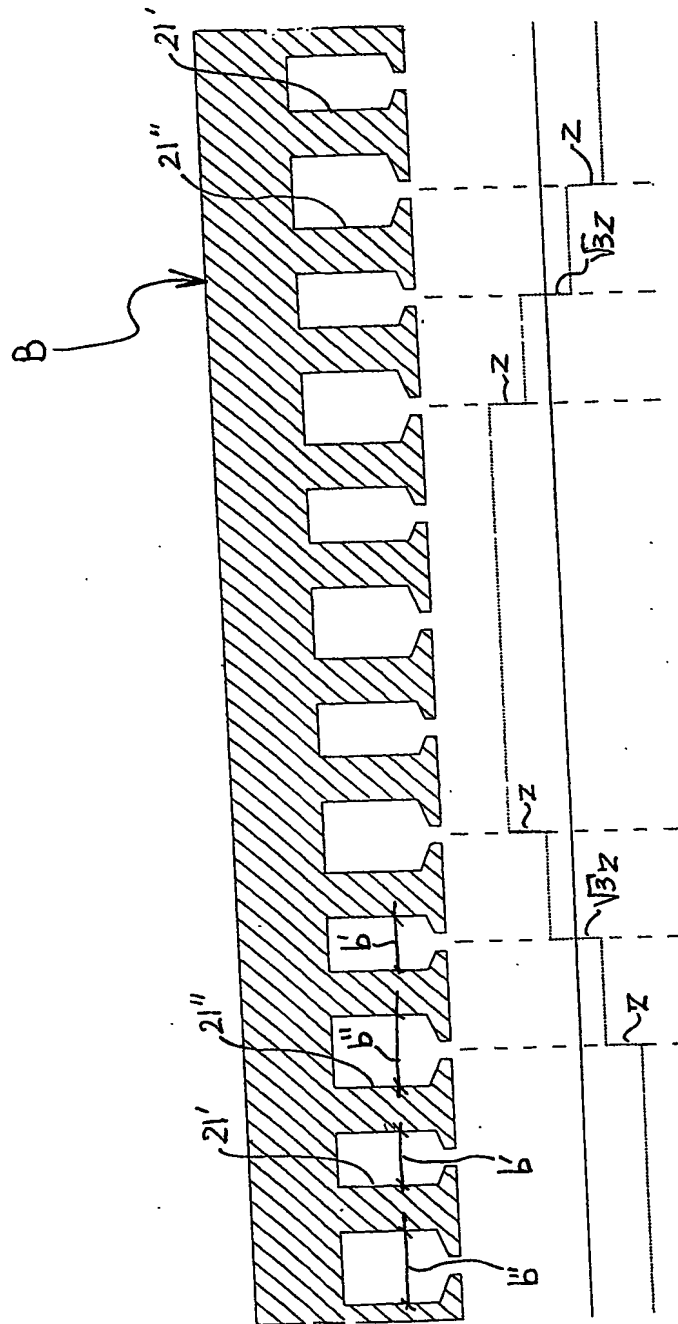


Fig 13



GIUSEPPE QUINTERNO
(Isr. No. 257BM)

C.C.I.A.A. DI TORINO

Verbale di deposito di istanze e documenti concernenti priorità

L'anno Duemiladue il giorno TREDICI del mese di NOVEMBRE

la Ditta/il Signor C.R.F. 'SOCIETA' CONSORTILE PER AZIONI - TREE S.A.S. DI GRUGNETTI RO

con sede/residente in ORBASSANO TO ITALIA
TORINO TO ITALIA

Rappresentato/a dai Signori Filippo Jacobacci (Iscr. N. 262BM), Guido Jacobacci (Iscr. N. 263BM), Giuseppe Quinterio (Iscr. N. 257BM), Massimo Introvigne (Iscr. N. 368BM), Paolo Rambelli (Iscr. N. 435BM), Angelo Gerbino (Iscr. N. 488BM), Fabio Siniscalco (Iscr. N. 347BM), Claudio Maggioni (Iscr. N. 113BM), Francesco Serra (Iscr. N. 90BM), Corrado Fioravanti (Iscr. N. 553BM), Paolo Ernesto Crippa (Iscr. N. 903BM), Luca Gallo (Iscr. N. 949BM) ed anche, limitatamente alla materia delle registrazioni di marchio, i Signori Enrico Riccardino (Iscr. N. 799M), Patrizia Franceschina (Iscr. N. 787M), Gabriele Borasi (Iscr. N. 684M), Sergio Mulder (Iscr. N. 683M), Silvia Lazzarotto (Iscr. N. 789M), Carlo Alberto Demichelis (Iscr. N. 800M), Franca Acuto (Iscr. N. 783M), Giulio Martellini (Iscr. N. 886M), Sylvain Rousseau (Iscr. N. 984M), Eleonora Guiotto (Iscr. N. 975M), Laura Salustri (Iscr. N. 879M), Fabiola Anna Quintavalle (Iscr. N. 981M), Lucia Vittorangeli (Iscr. N. 983M) nonché, limitatamente alla materia dei brevetti per invenzione e modelli industriali, i Signori Giorgio Long (Iscr. N. 834B), Ilaria Simonelli (Iscr. N. 859B), Edgardo Deambrogi (Iscr. N. 931B), Diego Giugni (Iscr. N. 934B), Ferruccio Postiglione (Iscr. N. 940B) della società Jacobacci & Partners S.p.A., domiciliati presso quest'ultima in TORINO, Corso Regio Parco, 27 - 10152, ed elettivamente domiciliato/a agli effetti di legge anche "ai sensi dell'art. 75, 3° c. del R.D. 29 giugno 1939, N. 1127 e dell'art. 56, 2° c. del 21 giugno 1942, N. 929", presso detti mandatarî al suddetto indirizzo della Jacobacci & Partners S.p.A. in TORINO, Corso Regio Parco, 27 - 10152

a seguito di domanda di Brev. di Invenzione depositata in TORINO in data 29 Agosto 2002

Protocollo n. TO2002A000757

ha depositato presso questo Ufficio i sottoelencati documenti:

1) N. 30 TAVOLE DI DISEGNI IN DUPLICE COPIA

2)

3)

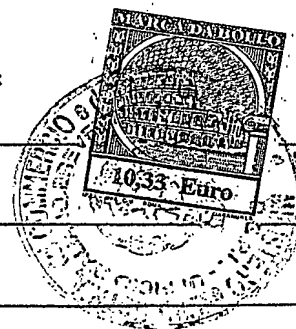
ANNOTAZIONE : PRESENTATA ISTANZA DI PROROGA DEI TERMINI IL 29.10.2002

Copia del presente verbale è stata consegnata all'interessato

p. Il depositante

DINO CHIALE

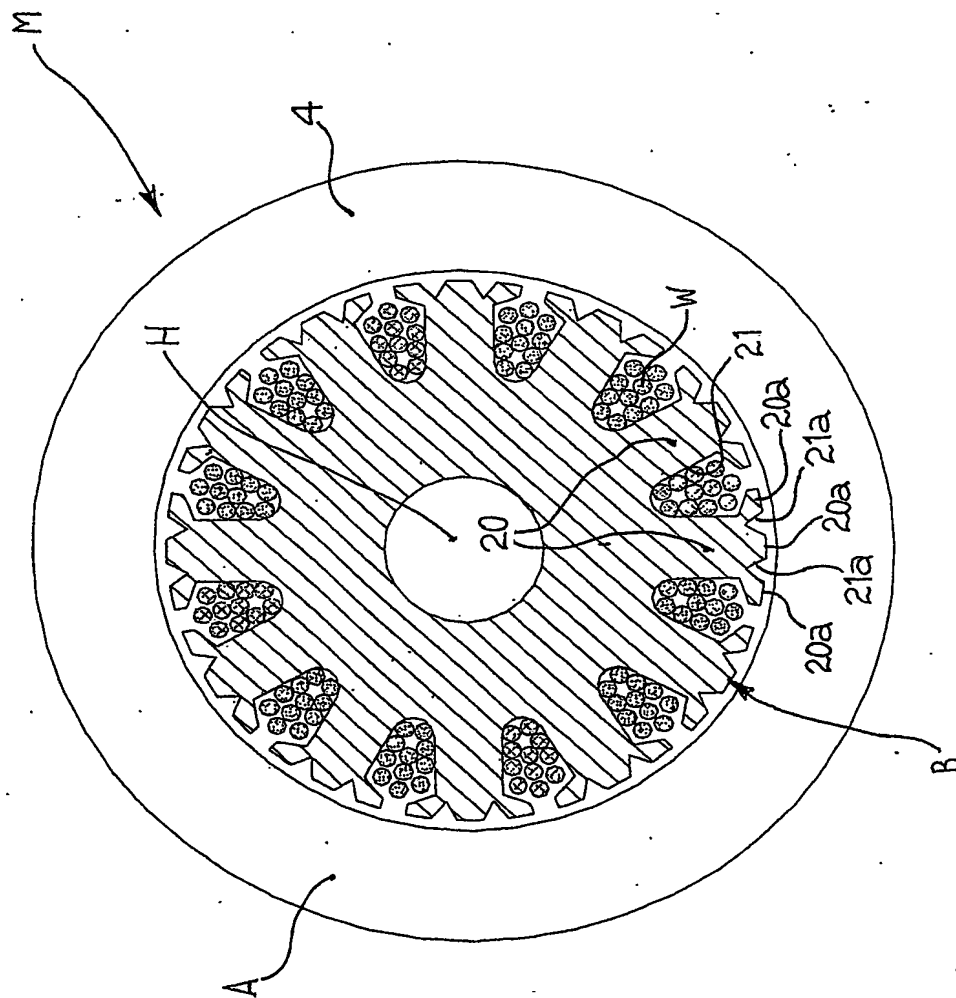
L'ufficiale rogante





LETTER TO THE EDITOR

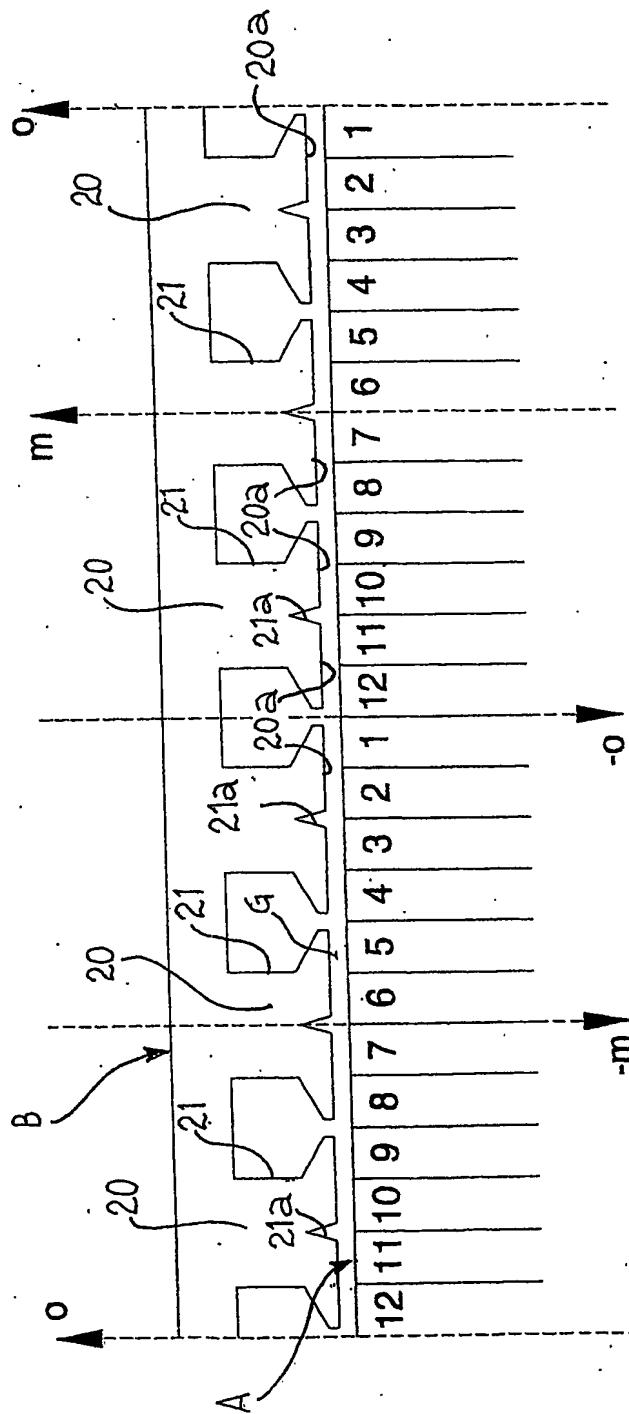
FIG. 1b



[Signature]
 TRAC...
 (2001. 01. 01. 01)

Per incarico di C R E SOCIETA' CONSORTILE PER AZIONI E TREE S.A.S. DI GRUGNETTI ROBERTA

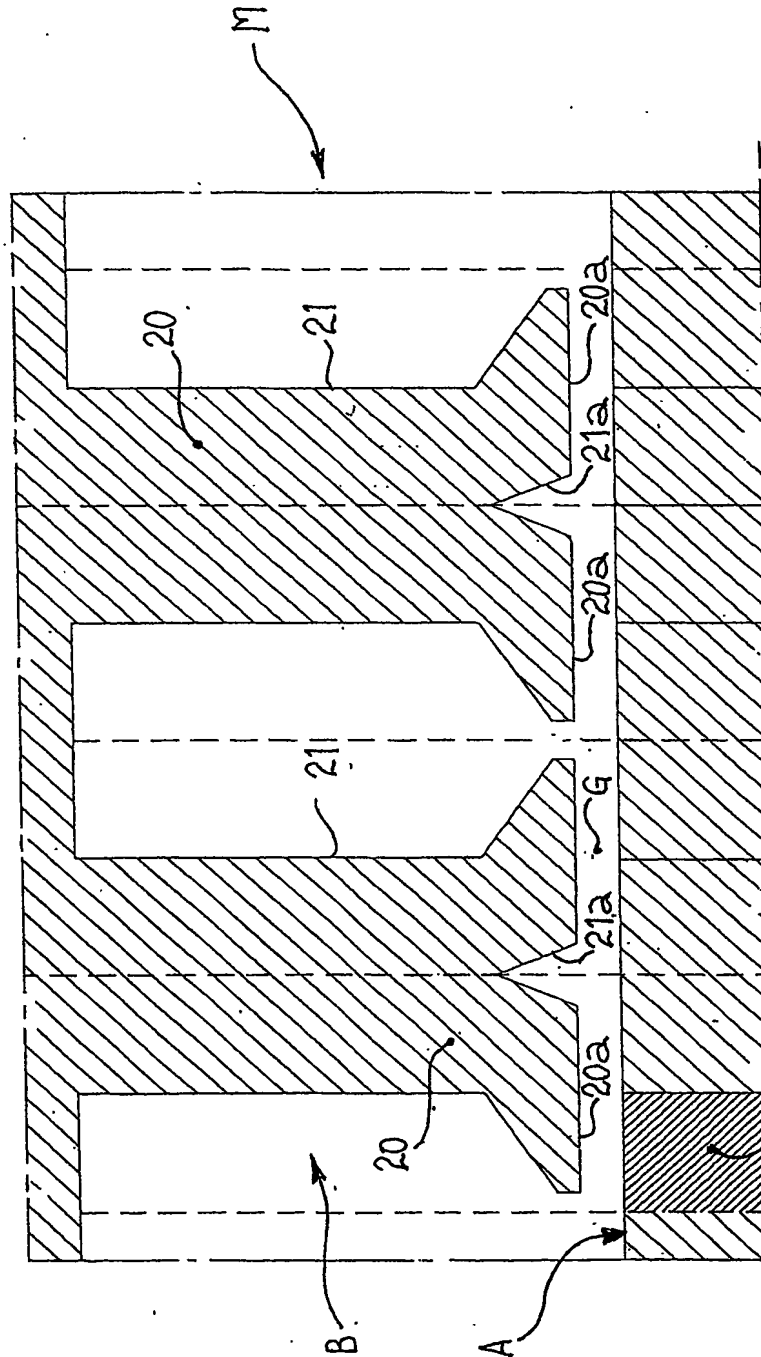
FIG. 2b



Handwritten signature
C.C.I.A.A.
Torino

FRANCESCO SERF
(Ispr. No. 90BM)

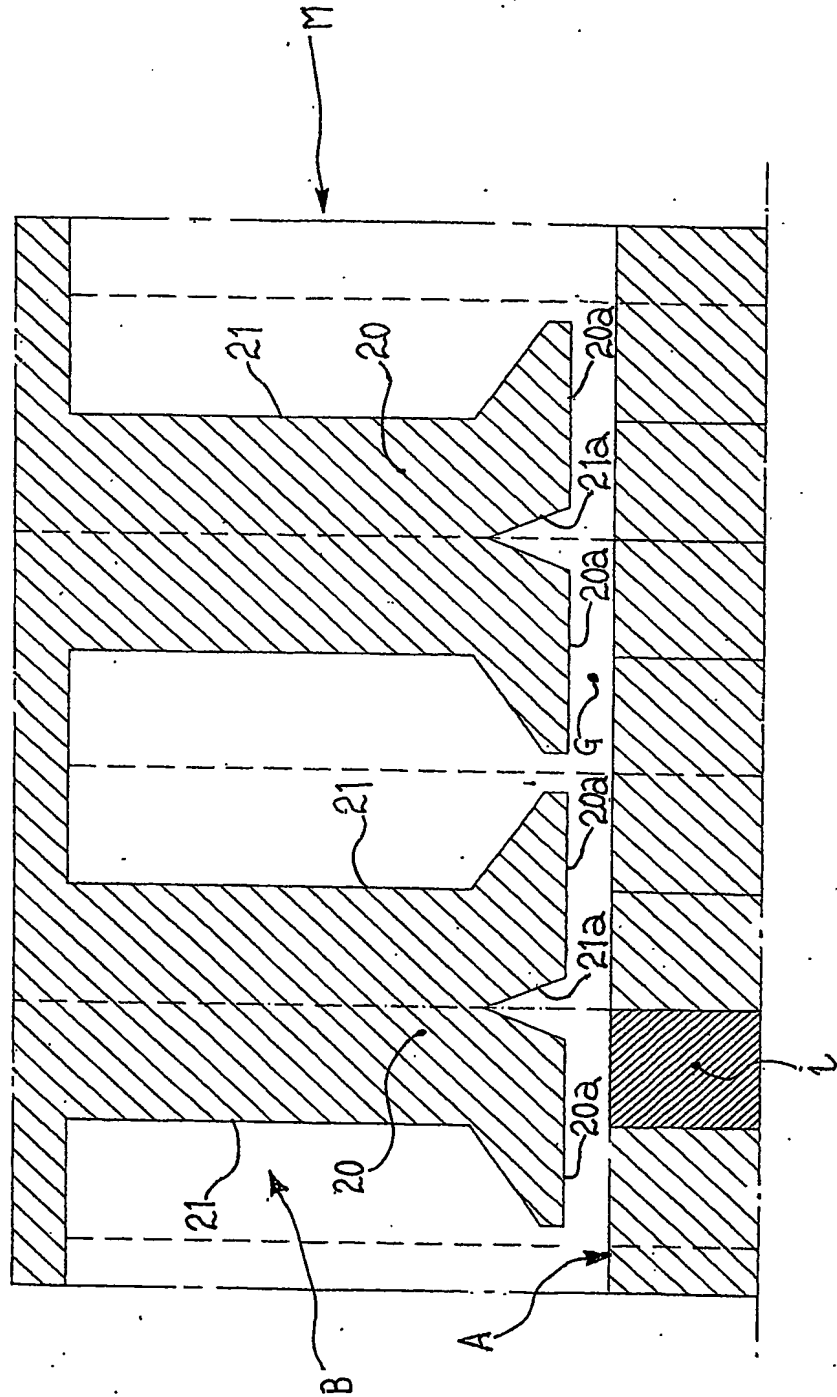
FIG. 3a



Handwritten signature
 C.C.I.A.A.
 Torino

FRANCESCO C. C.C.I.A.A.
 (20/1/2001)

FIG. 3b

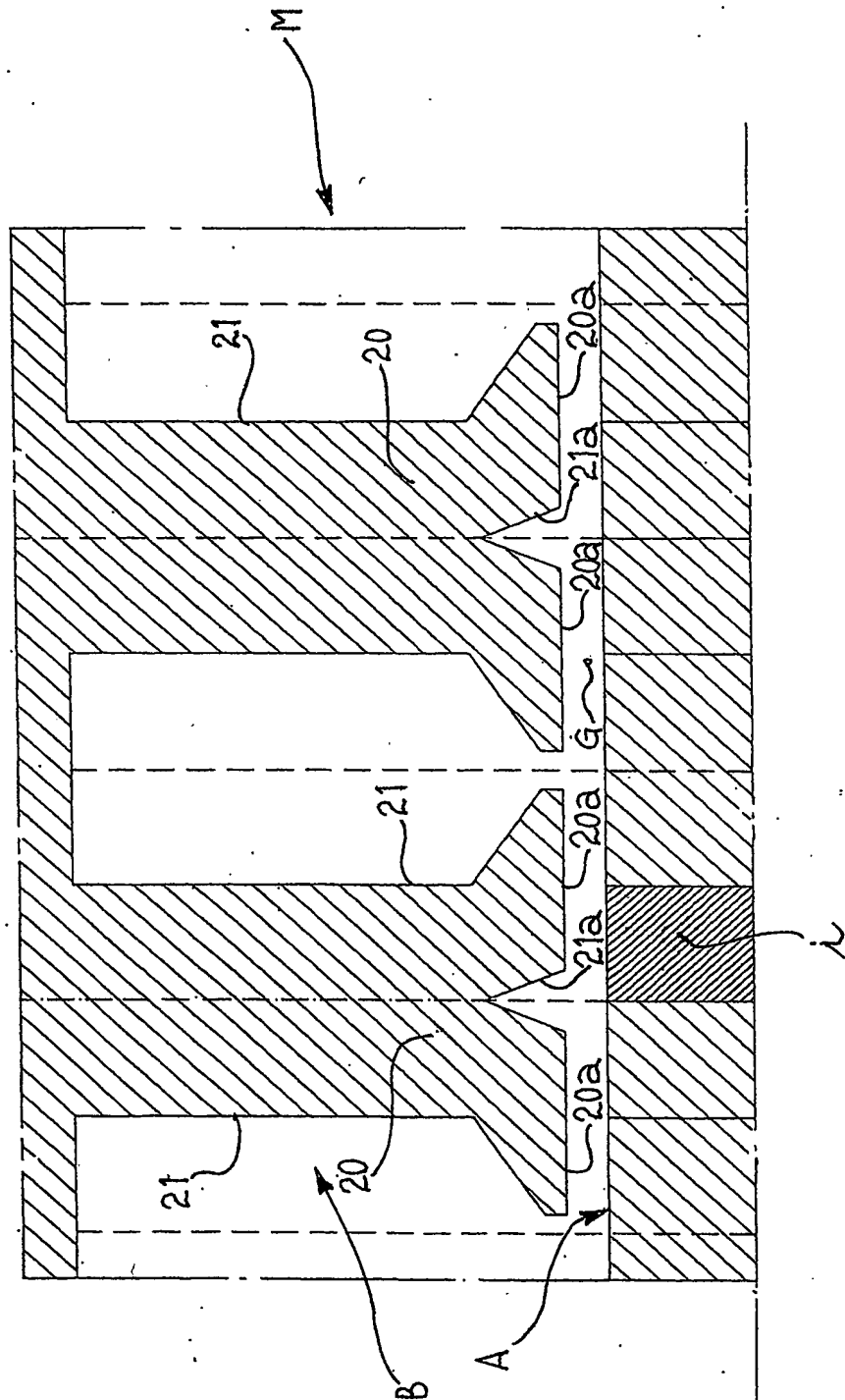


CCIAA
Torino

Francesco Serra

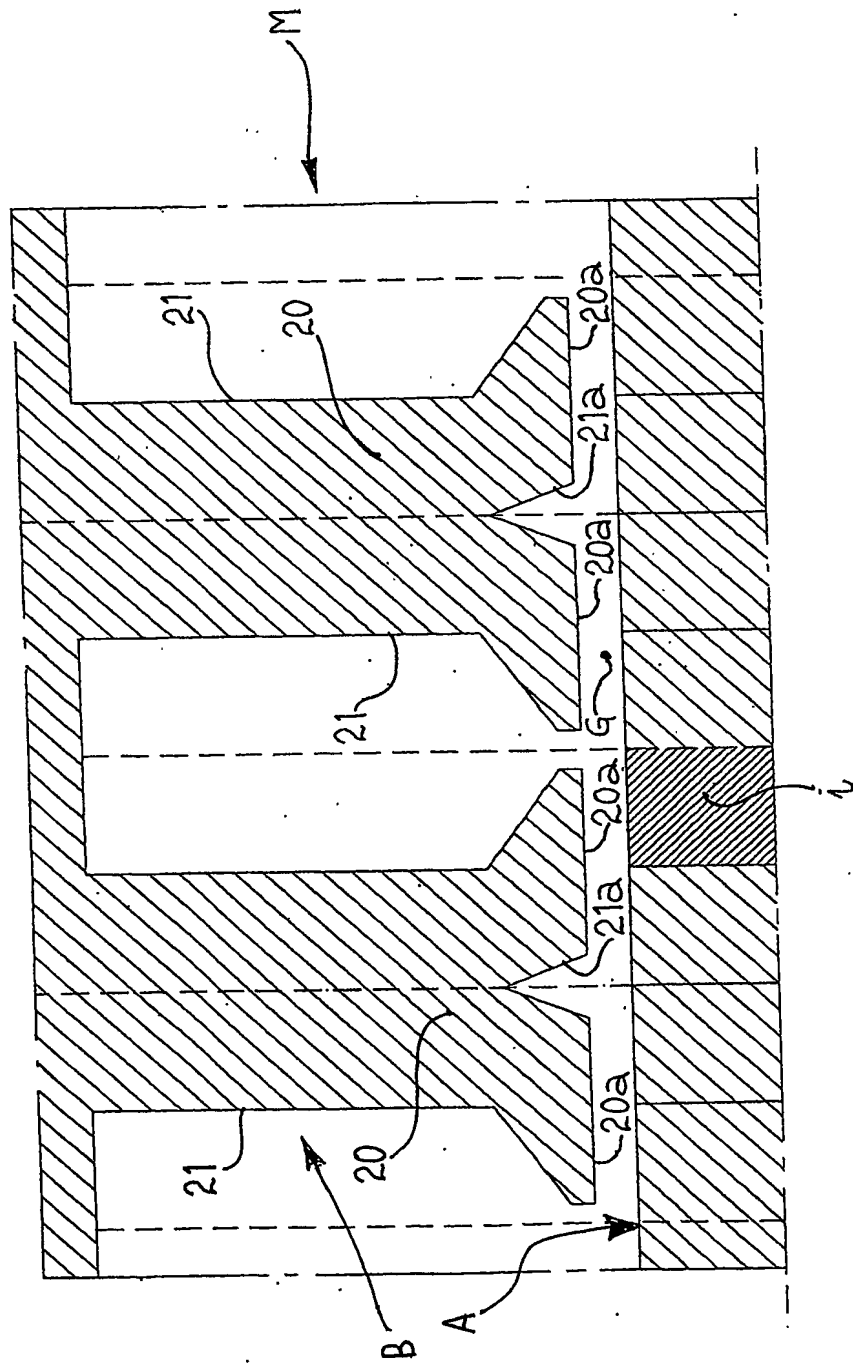
FRANCESCO SERRA
(Isr. No. 905M)

FIG. 3c



officij
CCIAA
Trento

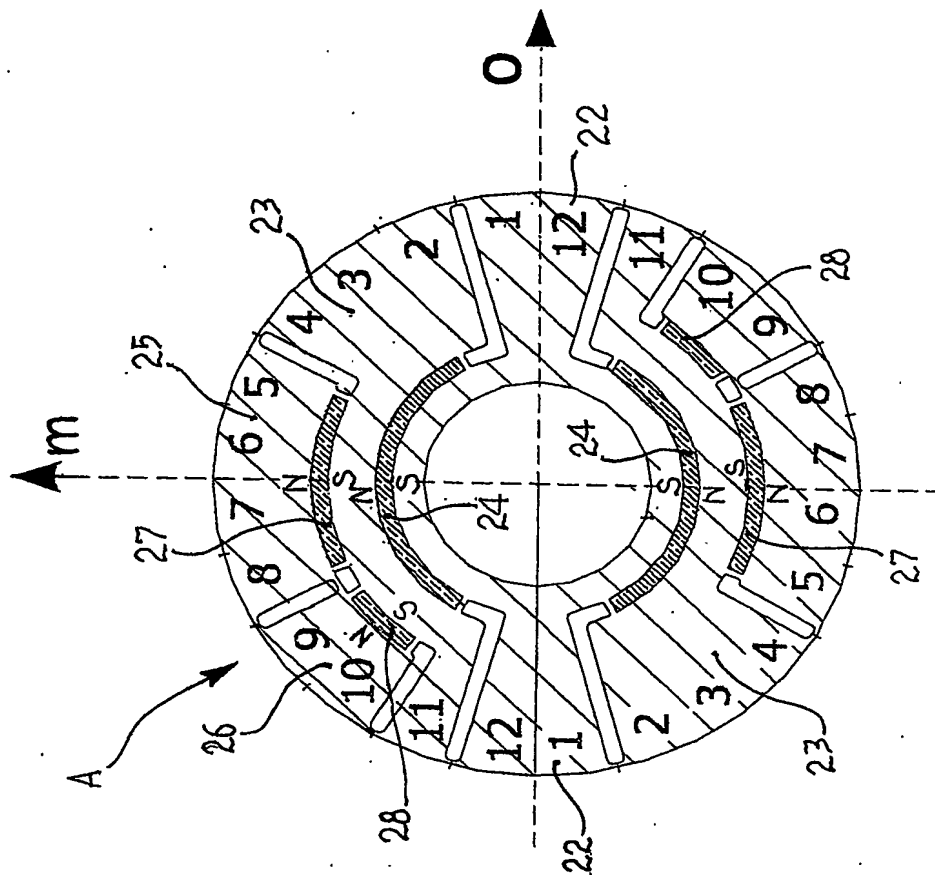
FIG. 3d



CCIAA
ROMA

[Signature]

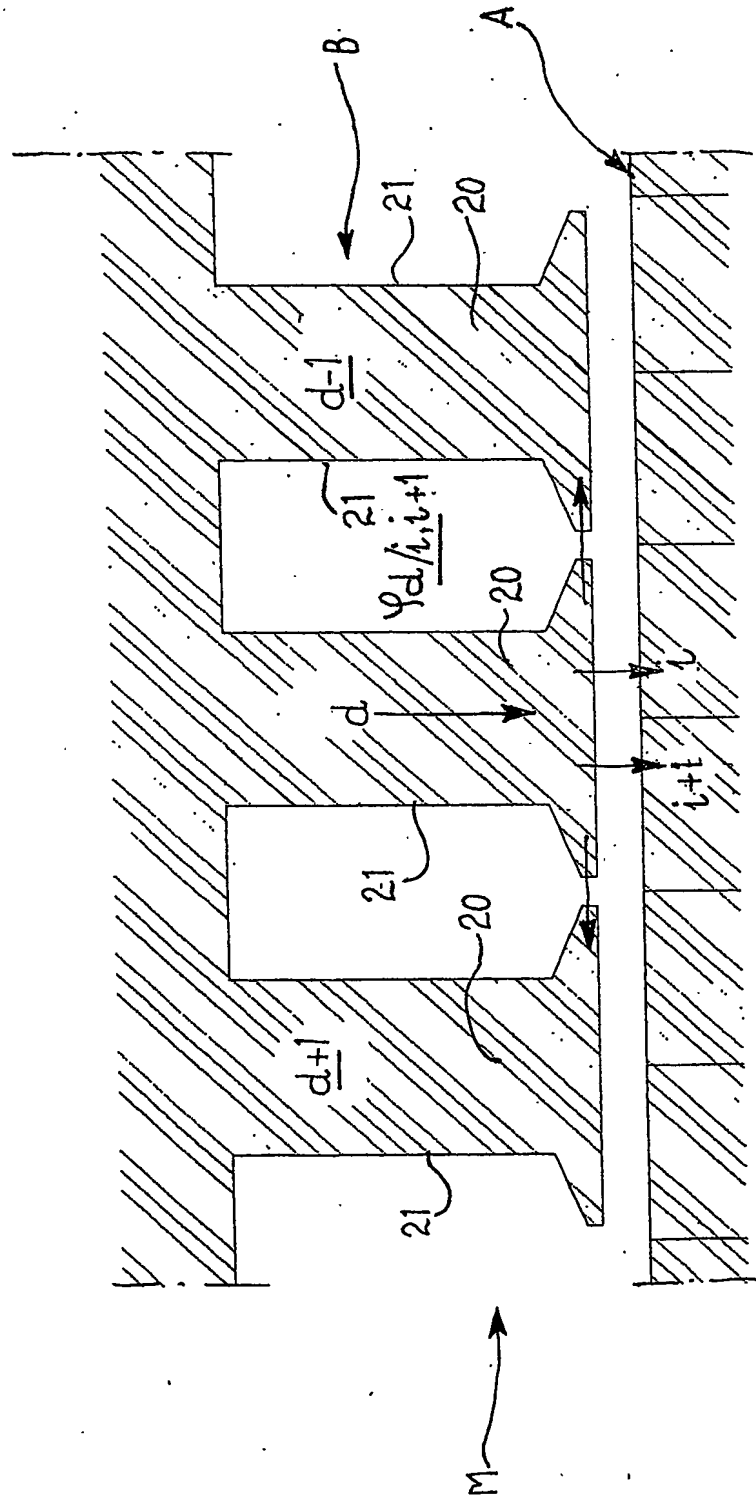
FIG. 4



[Signature]
 E.C.I.A.A.
 Torino

FRANCESCO SERIA
 (Isct. No. 90BM)

FIG. 5
($n=N$)

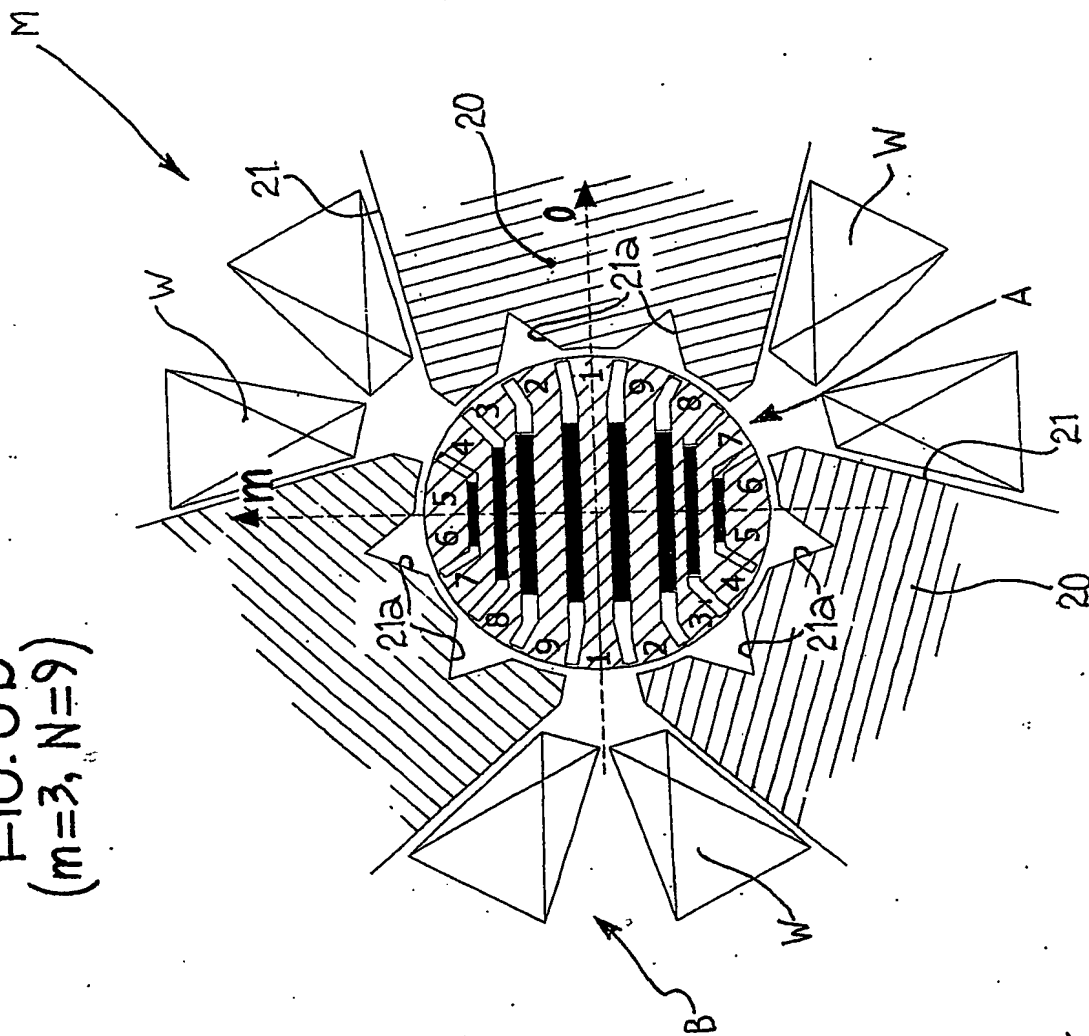


Francesco Serrini
FRANCESCO SERRI
 (Iscri. No. 90BM)

The diagram shows a cross-section of a circular assembly. Two central rectangular blocks, labeled 1 and 2, are positioned horizontally. Block 1 has a North (N) pole on its left face and a South (S) pole on its right face. Block 2 has a North (N) pole on its left face and a South (S) pole on its right face. These blocks are situated within a larger circular region filled with diagonal hatching. Several trapezoidal structures, each labeled 20, are arranged around the perimeter of the circle. Some of these structures have internal features labeled 21, 21a, 21b, 30, 31, 32, 33, 34, and 35. Arrows labeled A, B, G, W, and O indicate various directions or forces acting on or from the components.

SECRET

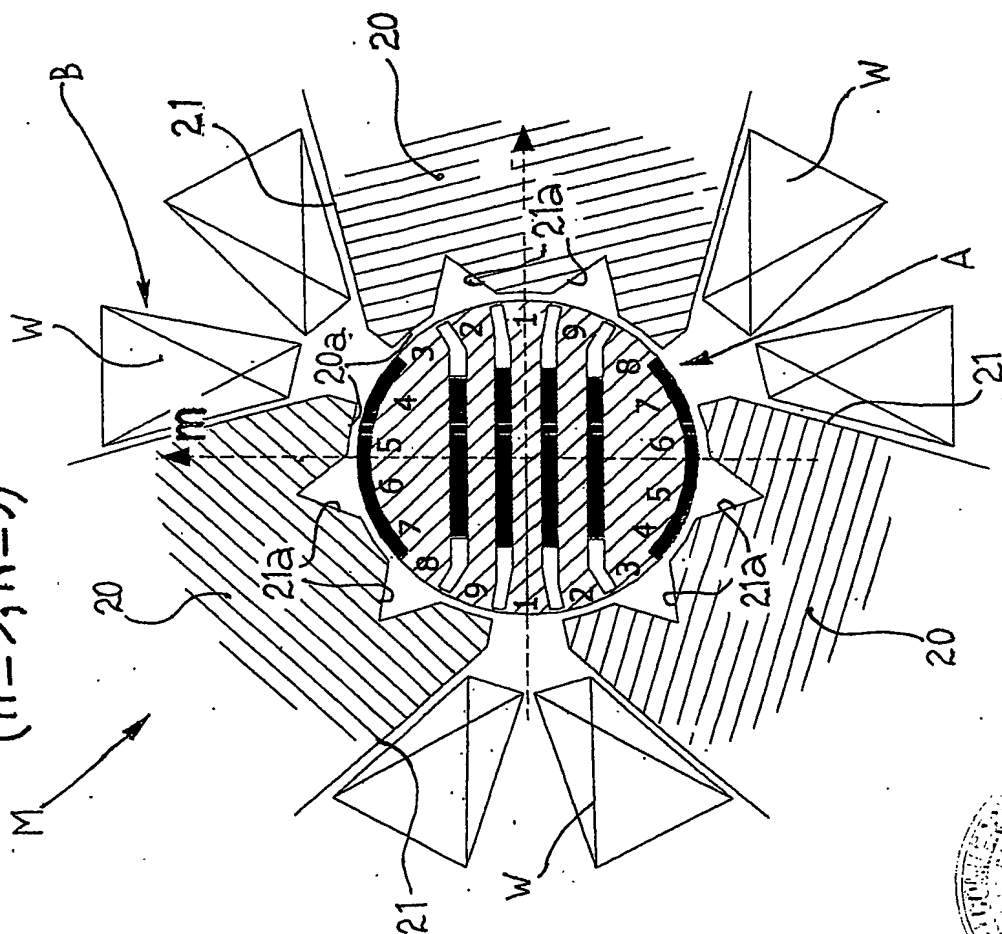
FIG. 6b
($m=3, N=9$)



CCIAA
forno

FRANCESCO SERRA
(scr. No. 90BM)

FIG 6C
($n=3, N=9$)

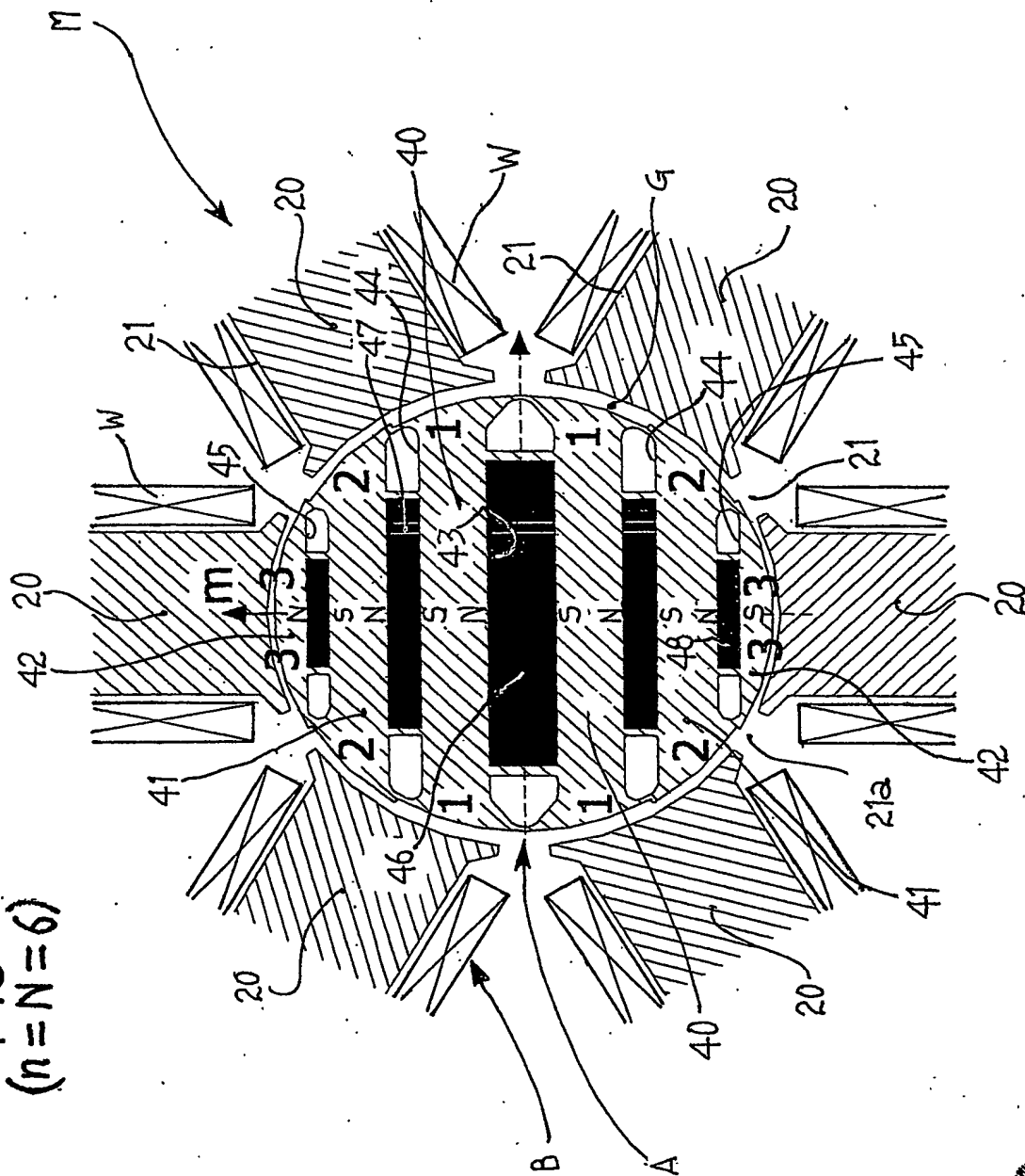


Handwritten signature
CCLAA
Ferraro

FRANCESCO SERR
(Iscri. No. 90BM)


Per incarico di: C.R.F. SOCIETA' CONSORTILE PER AZIONI E TREE S.A.S. DI GRUGNETTI ROBERTA

FIG. 8a
($n=N=6$)



C.C.I.A.A.
Forme

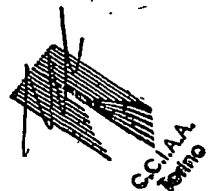
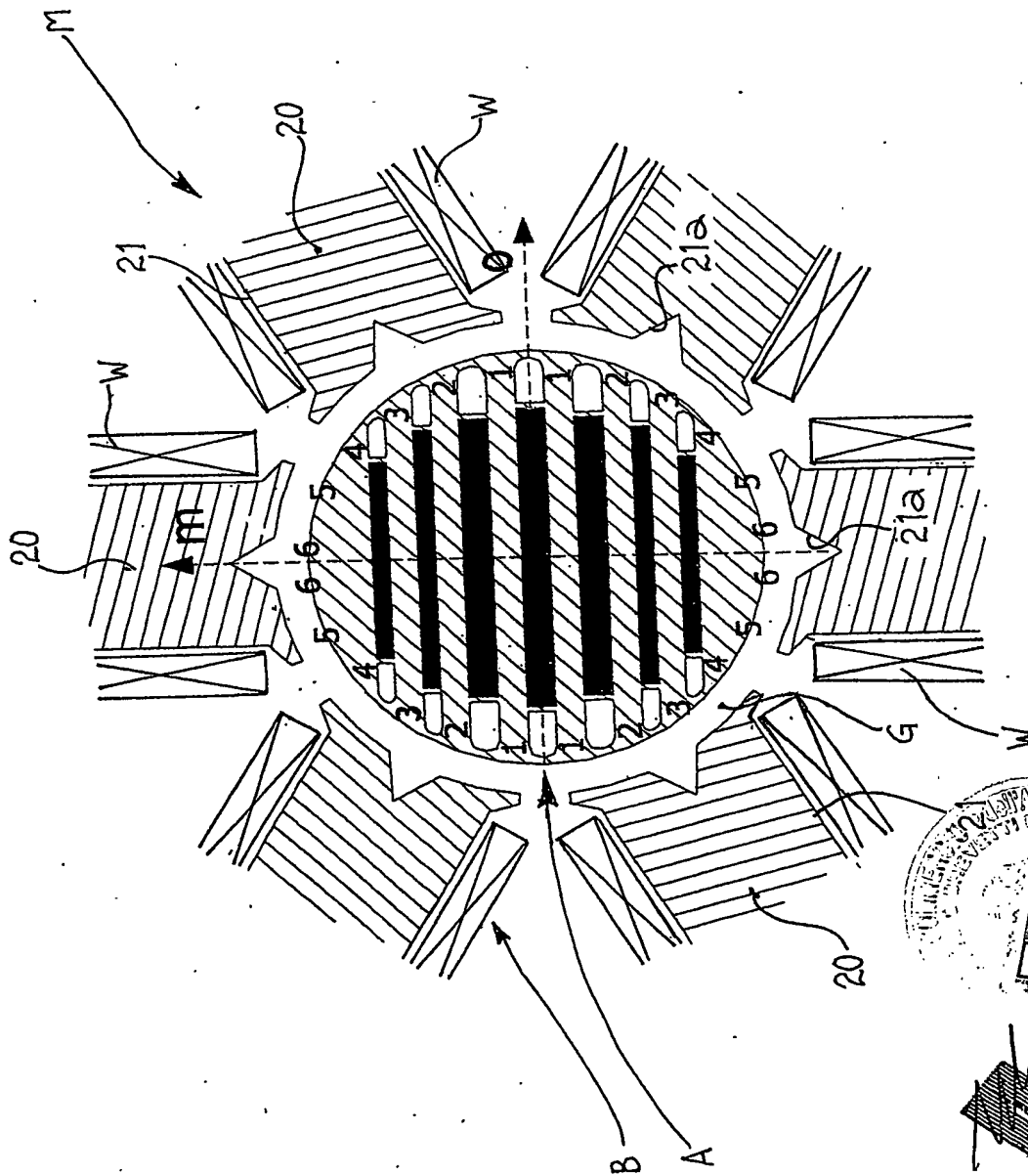
100-100-20225

[illegible]

John

FRANCESCO SERIZI
(Iscr. No. 90BM)

FIG. 8C
($n=6$, $N=12$)

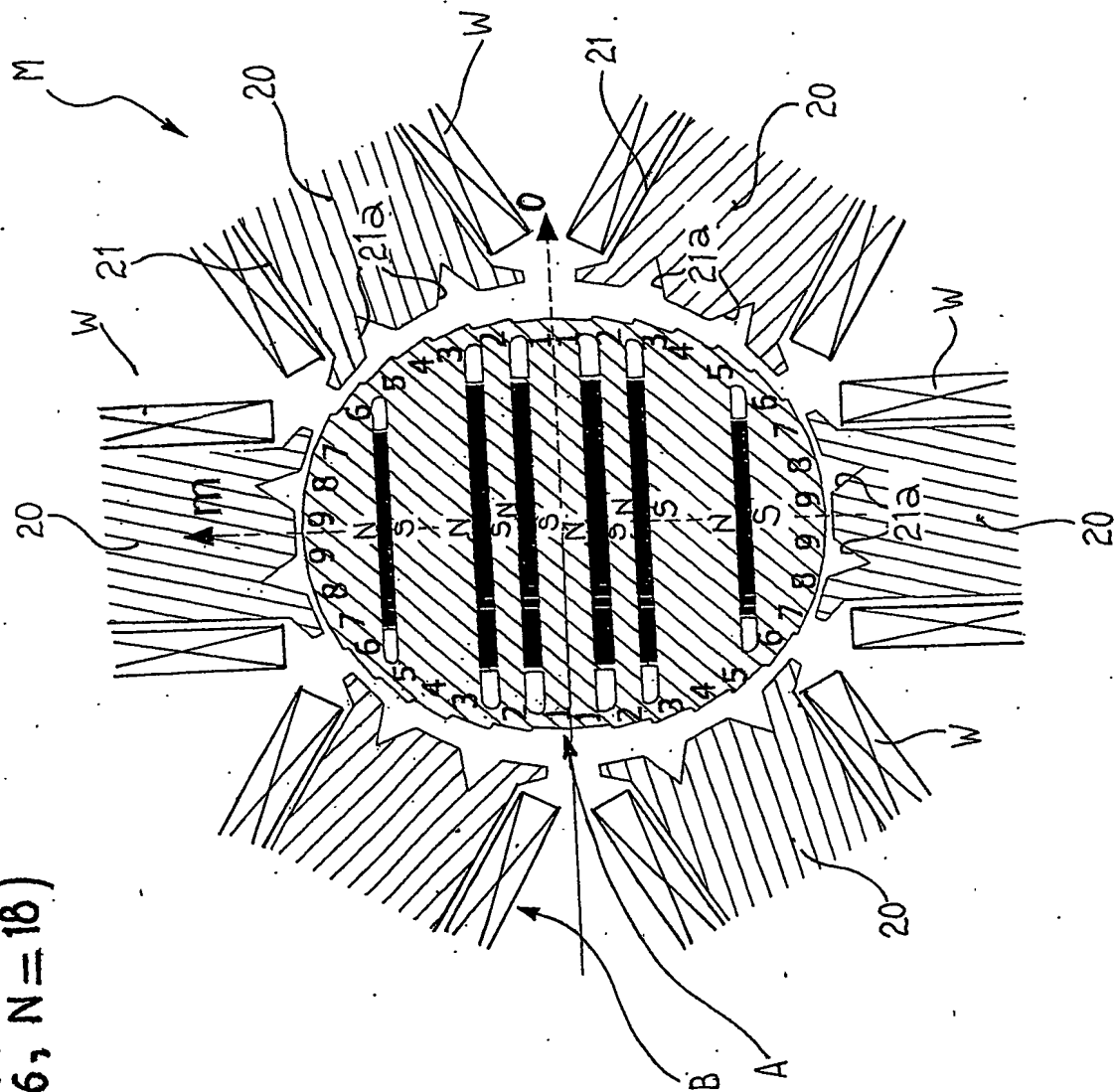


FRANCESCO SERRA
(Isr. No. 90BM)



Henry

FIG. 8e
($n=6$, $N=18$)

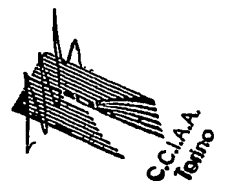
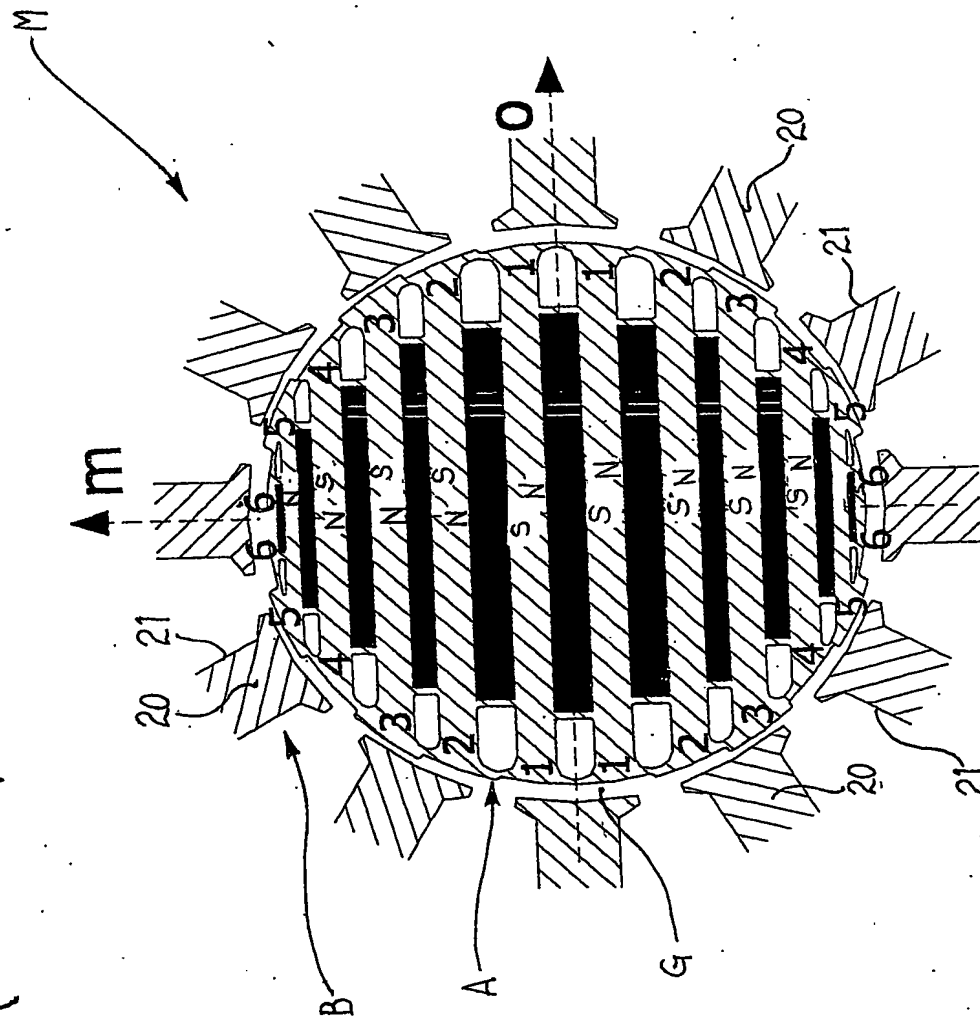


CCIAA
Torino

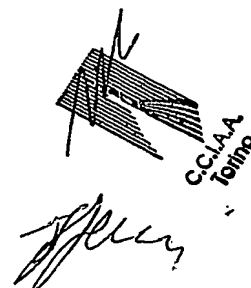
[Signature]

CCIAA
Torino

FIG. 9a
($n = N = 12$)

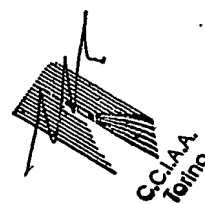
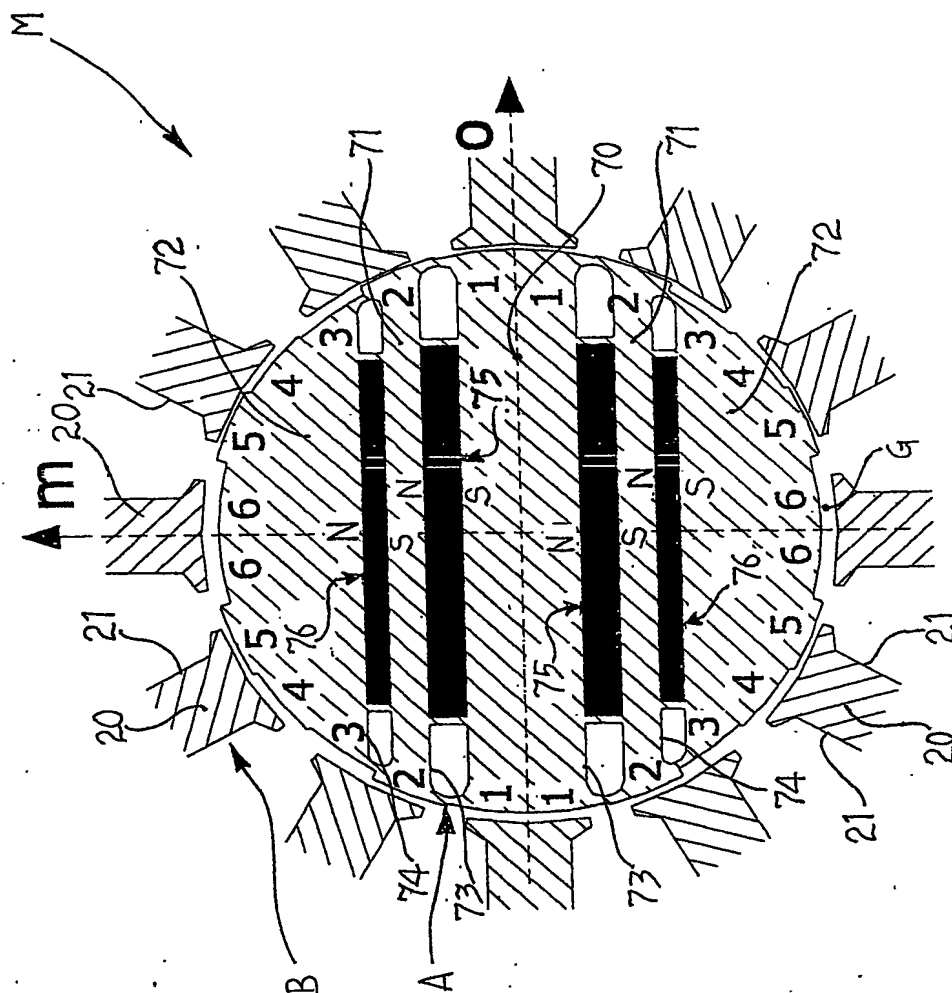


Francesco Serra
FRANCESCO SERRA
(Iscri. No. 90BM)



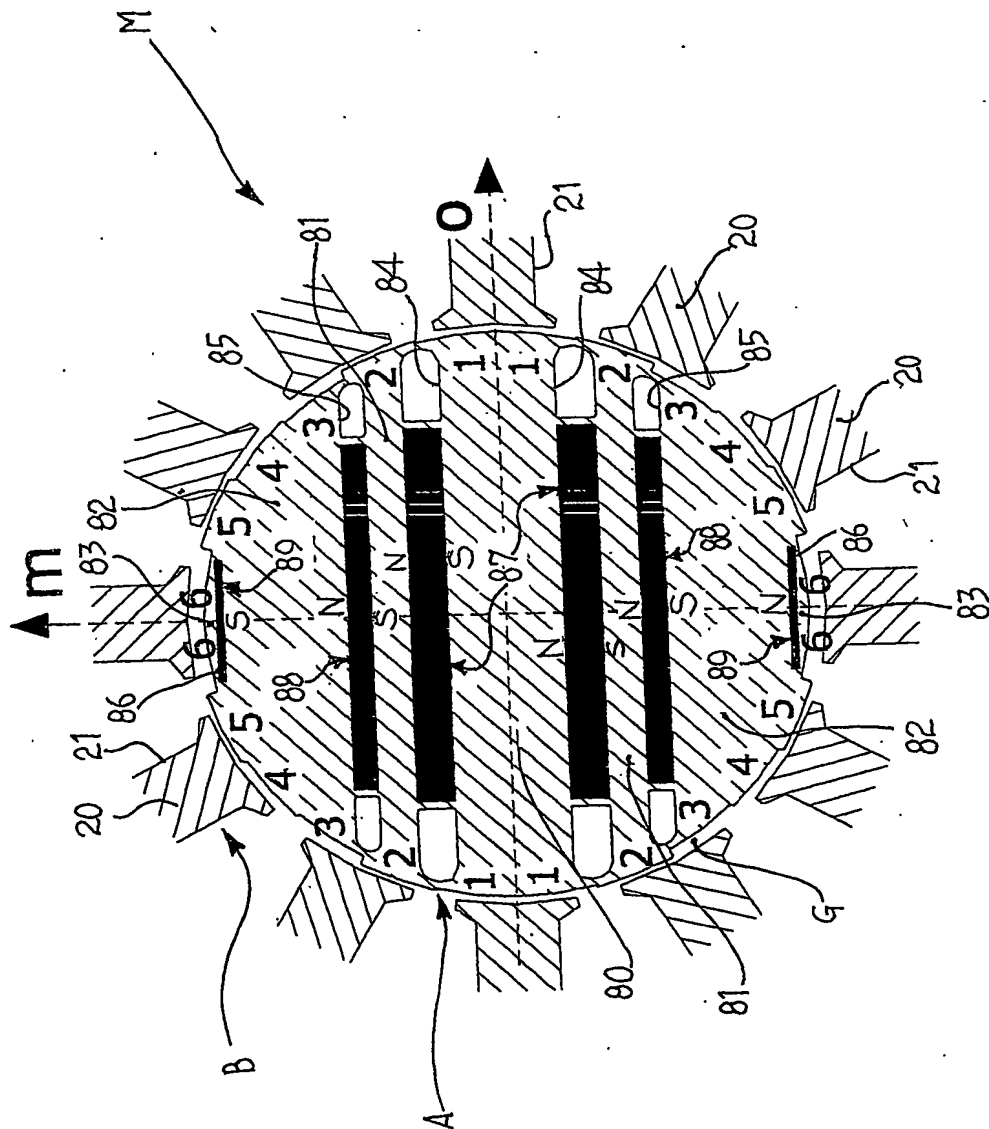
5. - **IL GRUPPO SOCIETARIO CONSORTILE PER AZIONI E TREE S.A.S. DI GRUGNETTI ROBERTA**

FIG. 9C
($n = N = 12$)



[Handwritten signature]
F. [illegible]

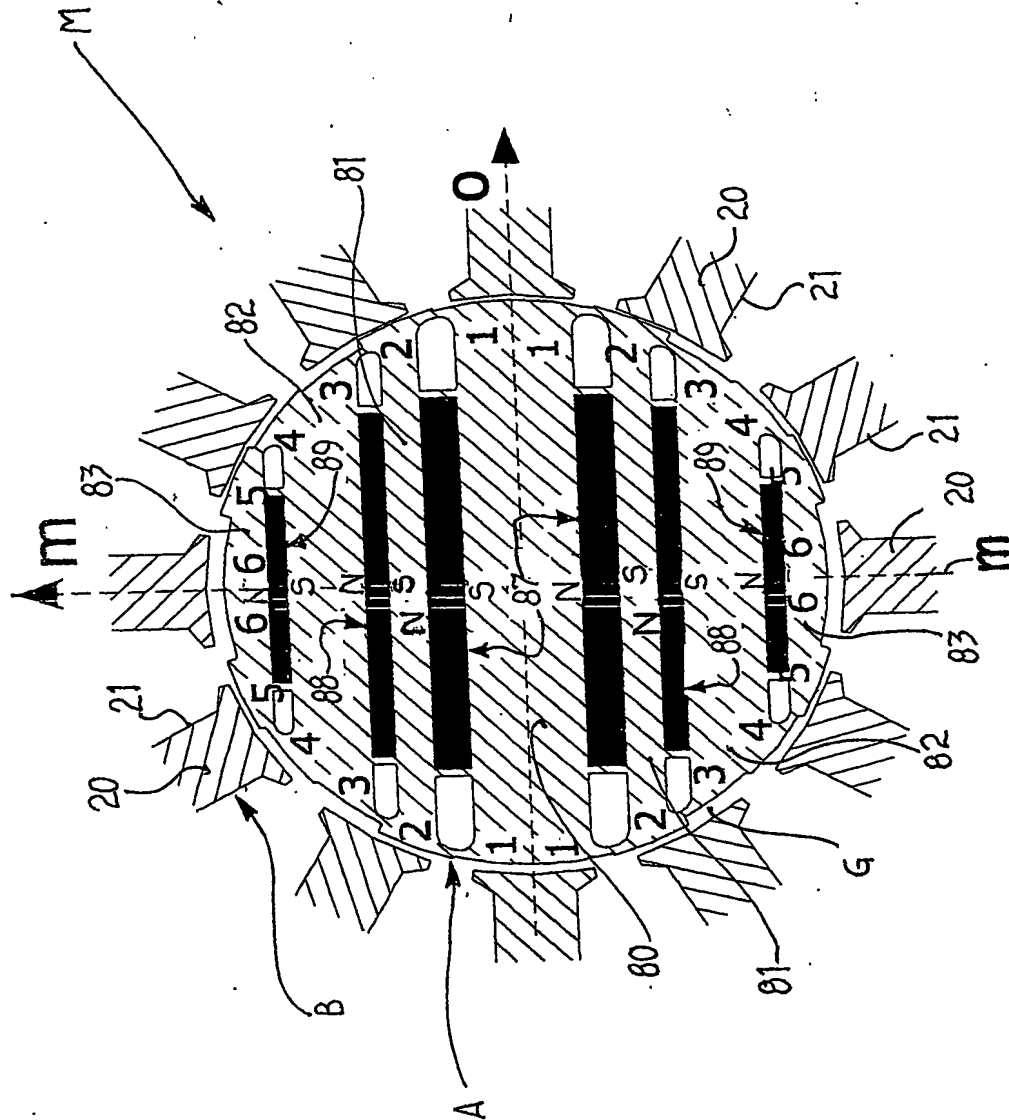
FIG. 9d
($n = N = 12$)



[Signature]
C.C.I.A.A.
Torino

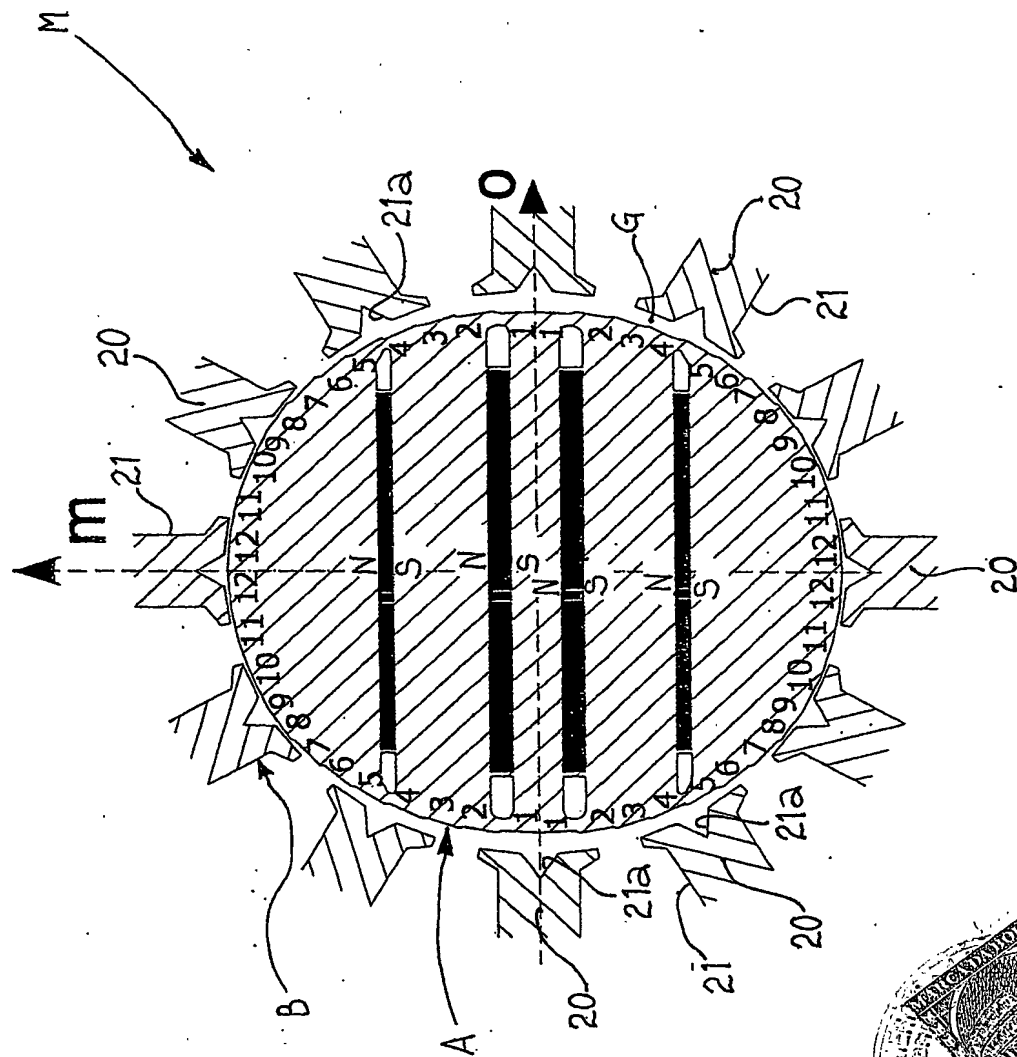
1-11-1980
(ocr. No. 00000)

FIG. 9e
($n = N = 12$)



FRANCESCO GERHA
(Iscri. No. 90BM)

FIG. 9f
($n=12, N=24$)



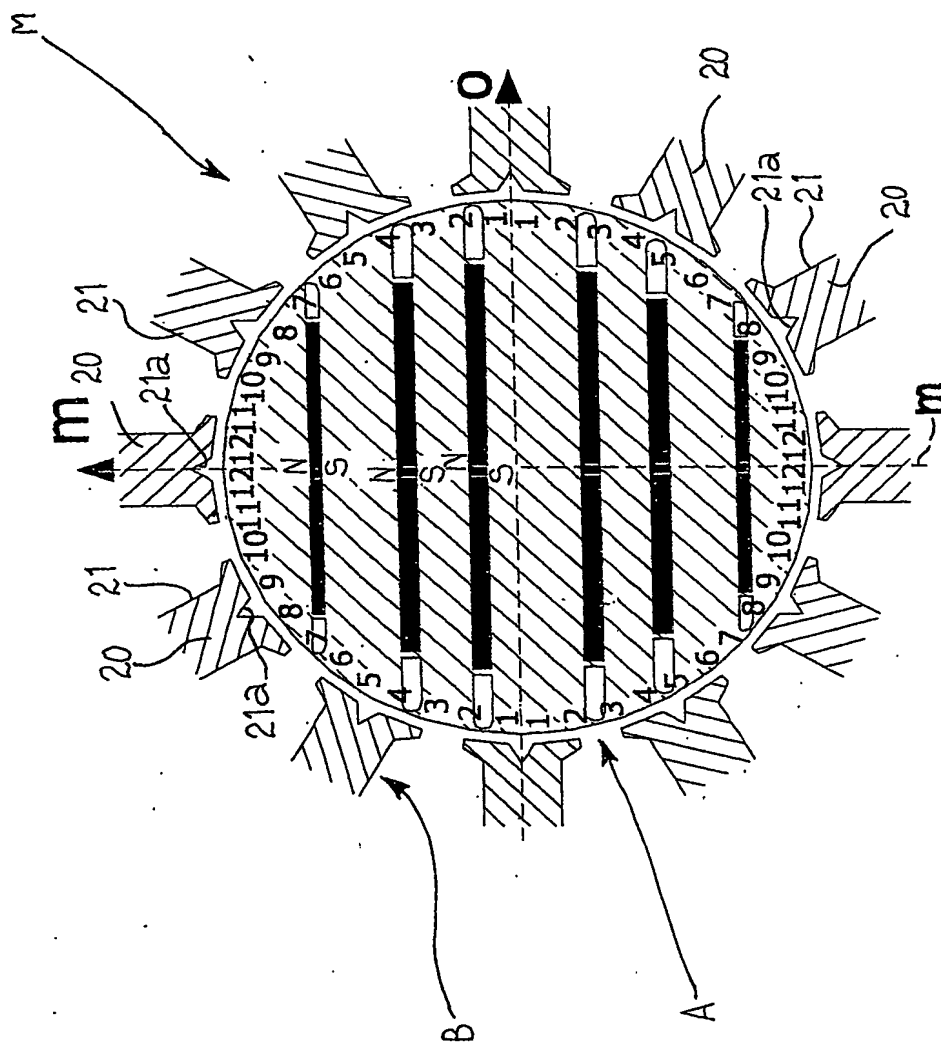
Francesco Serra
G.C.I.A.A.
Bologna

FRANCESCO SERRA
(Isr. No. 90BM)

FRANK
(190.14. 5714)

He

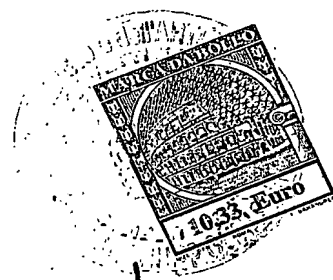
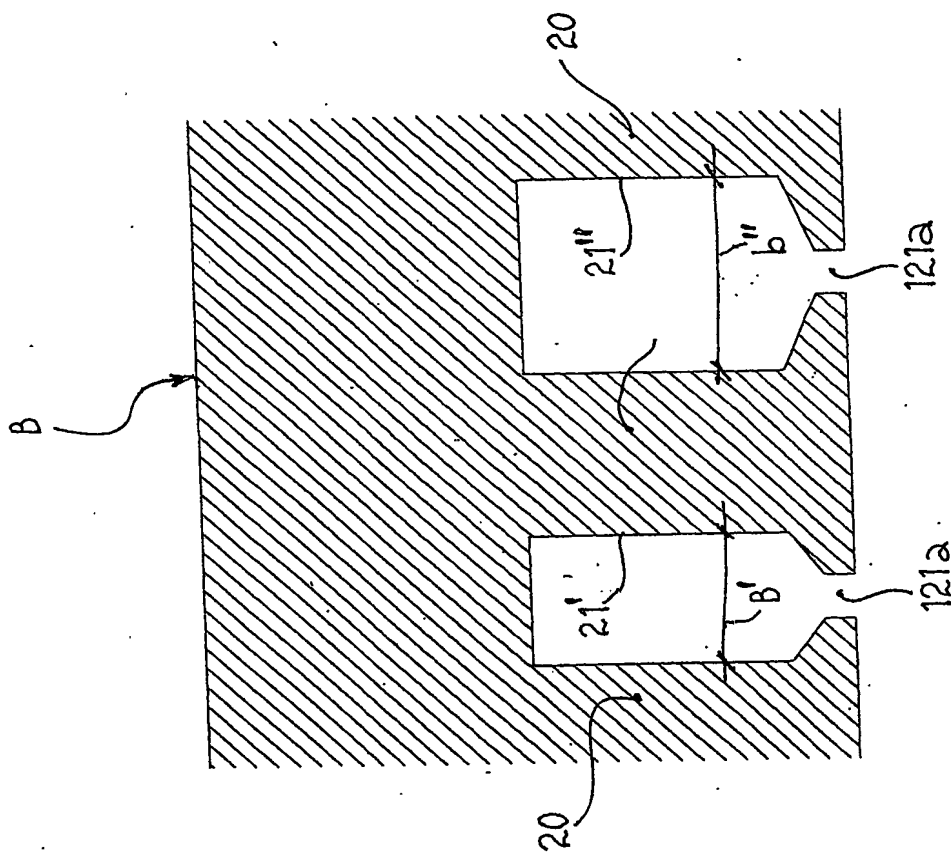
FIG. 11



[Signature]
C.C.I.A.A.
Terni

FRANCESCO SERRI
(Iscri. No. 90BM)

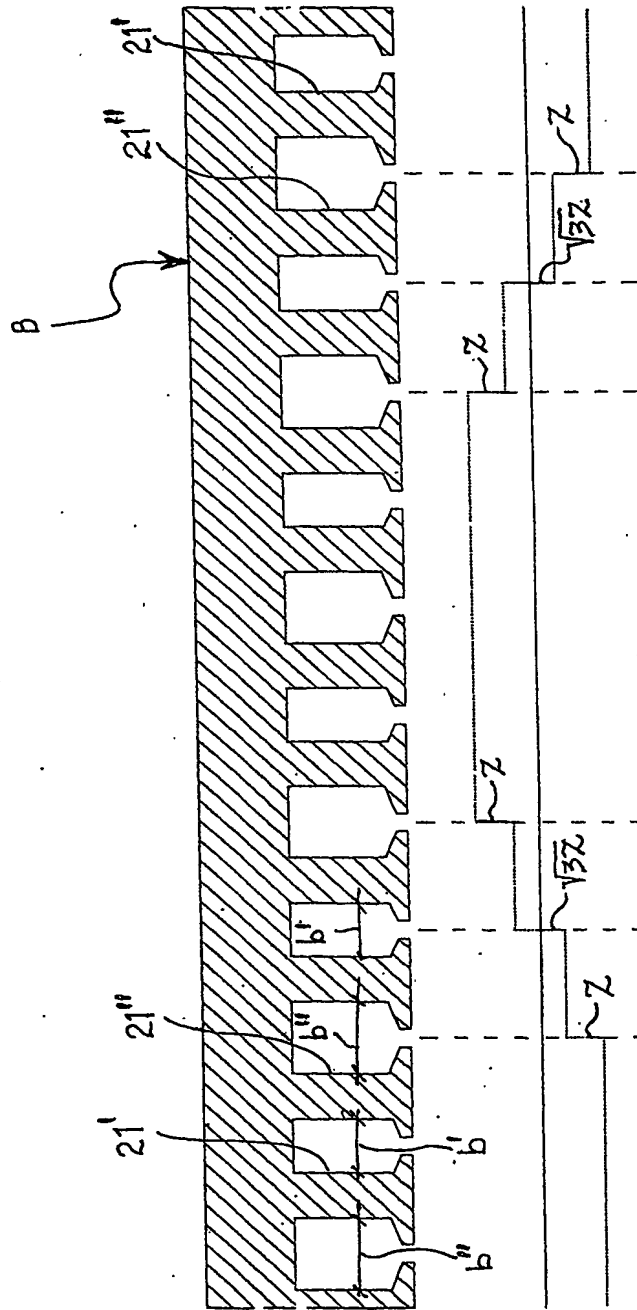
FIG. 12



[Handwritten signature]
CCIAA
Torino

[Handwritten signature]
FRANCESCO SERRA
(Isr. No. 20BM)

FIG. 13



[Signature]
C.C.I.A.A.
Torino

FRANCESCO SERRA
(Iscri. No. 90BM)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.